



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 judiciaire près de l'AFSSET
 (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail)



La nouvelle Méthodologie française de gestion des sites pollués: Mise en œuvre et retours d'expérience (EQRS, ARR, IEM)

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

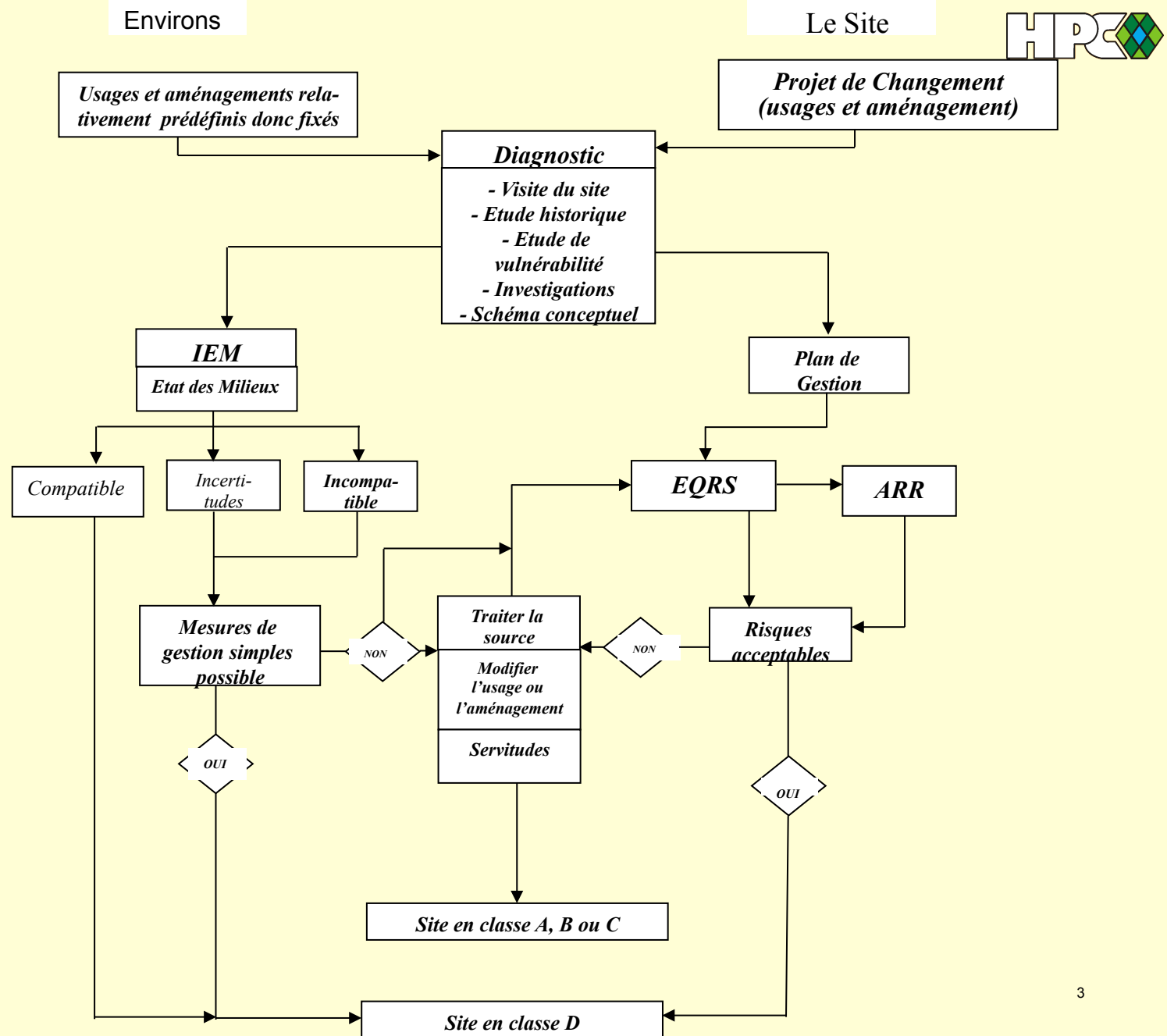
Expert judiciaire près de l'AFSSET

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

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

- **Visite du Site**
- **Étude historique**
- **Étude de vulnérabilité**
- **Diagnostic**
- **Schéma Conceptuel**
- **IEM : Interprétation de l'état des Milieux (ex ESR)**
 - **Comparaison à l'état initial de l'environnement : Comparaison aux valeurs de gestion réglementaires (Eaux, Air, Aliments)**
 - **Sols : Grille de Calcul (et Étude de sensibilité)**
- **Plan de gestion du site pollué**
- **EQR-S (=EDR-S)**
- **ARR : Analyse des risques résiduels sanitaires**
- **Bilan Coût/Avantages**
- **Surveillance**





EQRS et ARR : gestion des sites pollués

IEM	<ul style="list-style-type: none"> • Interprétation de l'état des Milieux (facultatif) (ex-ESR)
Comparaison à l'état initial de l'environnement :	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison des concentrations par rapport au <u>point « 0 » de l'Etude d'impact (ICPE) ou</u> • Comparaison des Concentrations par rapport au <u>Bruit de Fond Chimique (Géochimique + anthropique) des environs « non-pollués » du site (ML, HAP...).</u>
Comparaison aux valeurs de gestion réglementaires	<p>Cas des ressources ou des milieux naturels à protéger (En cas d'absence d'un polluant au sein des référentiels réglementaires → passage à l'EQRS-S)</p>

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Eaux

- **Eau potable** : Décret n° 2001-1220 :
 - **Annexe I-1 parties A et B** : Limites et références de qualité pour les **eaux destinées à la consommation humaine**,
 - **Annexe I-3** : Limites de qualité des **eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau potables** ;
 - **Annexe III** : Limites de qualité des **eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine**, fixées pour l'application de la procédure prévue aux articles 5 et 7) ;
- **Qualité des eaux à usage agricole**, ou d'abreuvement des troupeaux (systèmes d'évaluation de la qualité des eaux – SEQ, « Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines **SEQ** – Eaux Souterraines, Rapport Version 0.1 » : Agences de l'Eau, MEDD, BRGM, 08/2003 ; « Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines » : Les études des Agences de l'Eau n°8, ISSN: 1161-0425 ; « Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Grilles d'évaluation SEQ-eau (version 2) », 03/2003, MEDD et Agences de l'Eau).

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Air

- Air extérieur : Directive 96/62/CE du conseil du 27/09/1996 :

Concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant JO n° L296 du 21/11/1996, **Décret n° 98-360 du 06/05/1998** modifié, (décret 2002-213 du 15/02/2002 portant transposition des directives 199/30/CE et 2000/69/CE et modifiant le décret 98-360, et 2003-1085 du 12/11/2003 portant transposition de la directive 2002/3/CE du Parlement Européen et du Conseil du 12/02/2002 et modifiant le décret n° 98-360 du 06/05/1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limite. Ces décrets fixent les objectifs de qualité, les seuils d'alerte et de recommandations et les valeurs limites pour les polluants suivants : NO₂, particules (2,5 et 10 µm), Pb, SO₂, O₃, CO et C₆H₆ ;

Données des Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (Décret 98-362 du 06/05/1998) ; « Air quality guidelines for Europe », 2nd éd. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91).

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Aliments

- **Denrées alimentaires** destinées à la consommation humaine fixés par les règlements européens

(Règlement Européen (CE) N° 466/2001 du 08/03/2001 modifié), portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires) ou nationaux.

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Sols

Grille de Calcul : Évaluation des risques sanitaires

Cette grille de calcul n'a pas vocation et ne doit pas être utilisée pour définir des seuils de dépollution

en calculant par itération les concentrations conduisant à des niveaux de risques acceptables : cette opération, si elle est nécessaire, doit être définie au niveau du plan de gestion, et non pas au niveau de l'IEM.

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Sols: Grille de Calcul : Évaluation des risques sanitaires

Intervalles de risques	Commentaires	Actions
IR < 0,2 ou ERI < 10E-6	Banalisable	Pas d'action particulière sur la zone étudiée, dans la mesure où la source de pollution est maîtrisée
IR compris entre 0,2 et 5 ERI compris entre 10E-6 et 10E-4	Zone d'incertitude nécessitant un examen plus approfondi de la situation	Une Argumentation appropriée, tenant compte du retour d'expérience ou la réalisation d'une étude de sensibilité peut permettre de justifier la compatibilité entre l'état des milieux et les usages. (exemple, le retour d'expérience sur les EDR réalisées sur les sols pollués au plomb). Des mesures simples et de bon sens (enlèvement de taches de contamination concentrées, recouvrement de terres, voire une surveillance limitée dans le temps...) peuvent s'avérer suffisantes pour résoudre le problème sans qu'un plan de gestion soit nécessaire Des restrictions d'usage peuvent résoudre le problème.
IR > 5 ou ERI > 10E-4	Incompatibilité entre l'état des milieux et leurs usages	Le site doit faire l'objet d'un plan de gestion .

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Plan de gestion du site pollué

Applicable pour les sites pour lesquelles les aménagements et usages futurs pourront être adaptés aux contraintes du sous-sol

(cessation d'activités et remise en état d'un site ICPE, projet immobilier, etc.).

Le plan de gestion peut comprendre :

- **le diagnostic, l'IEM (facultatif),**
- **l'EQR-S,**
- **l'ARR,**
- **le Bilan Coûts / Avantages,**
- **la surveillance du site,**
- **les mesures correctives (réhabilitation, dépollution, etc.).**

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

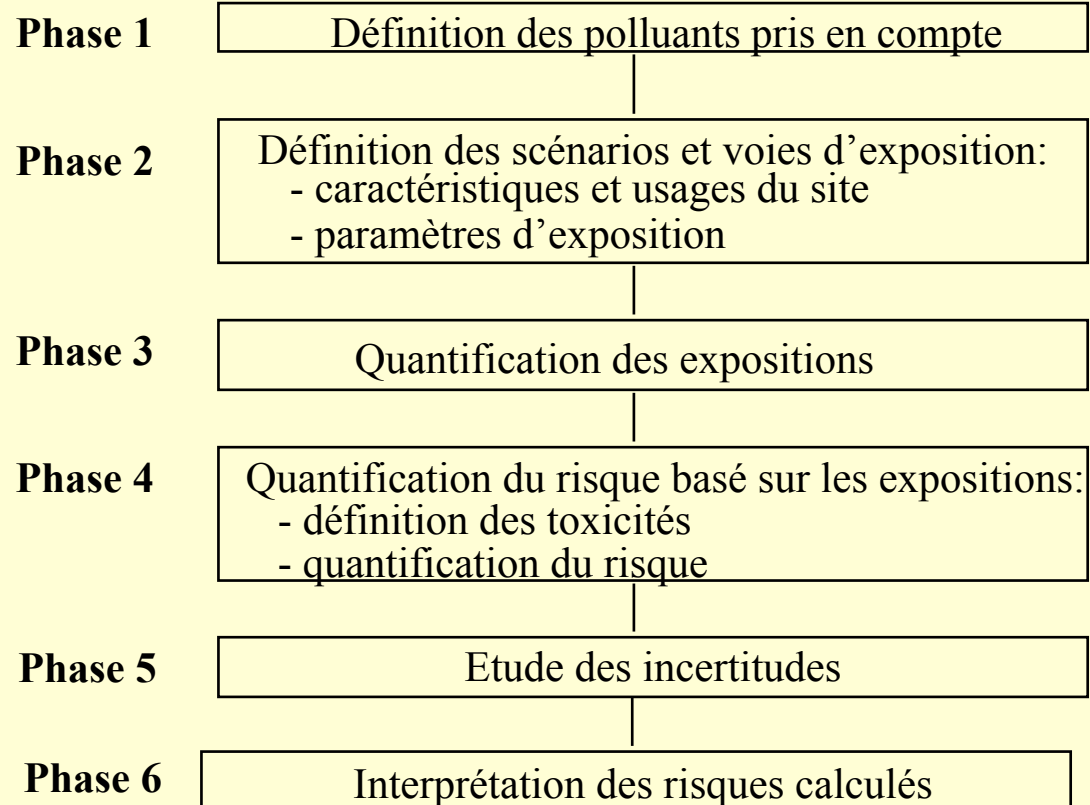
EQR-S

Évaluation quantitative des risques sanitaires
(= **EDR-S**) avec prise en compte de l'additivité des risques :

- Calcul des risques sanitaires (total et bruit de fond chimique),
- Calcul des objectifs de réhabilitation (OR = CMA),
- Plafonnement des OR vers le bas sur le bruit de fond chimique,
- Cartographie des besoins de réhabilitation ($> \text{OR}$),
- Définition des besoins (surfaces, volumes, etc. à traiter et types des traitements : Servitudes, Confinements, Dépollution, etc. à intégrer dans le cadre d'aménagement potentiel).

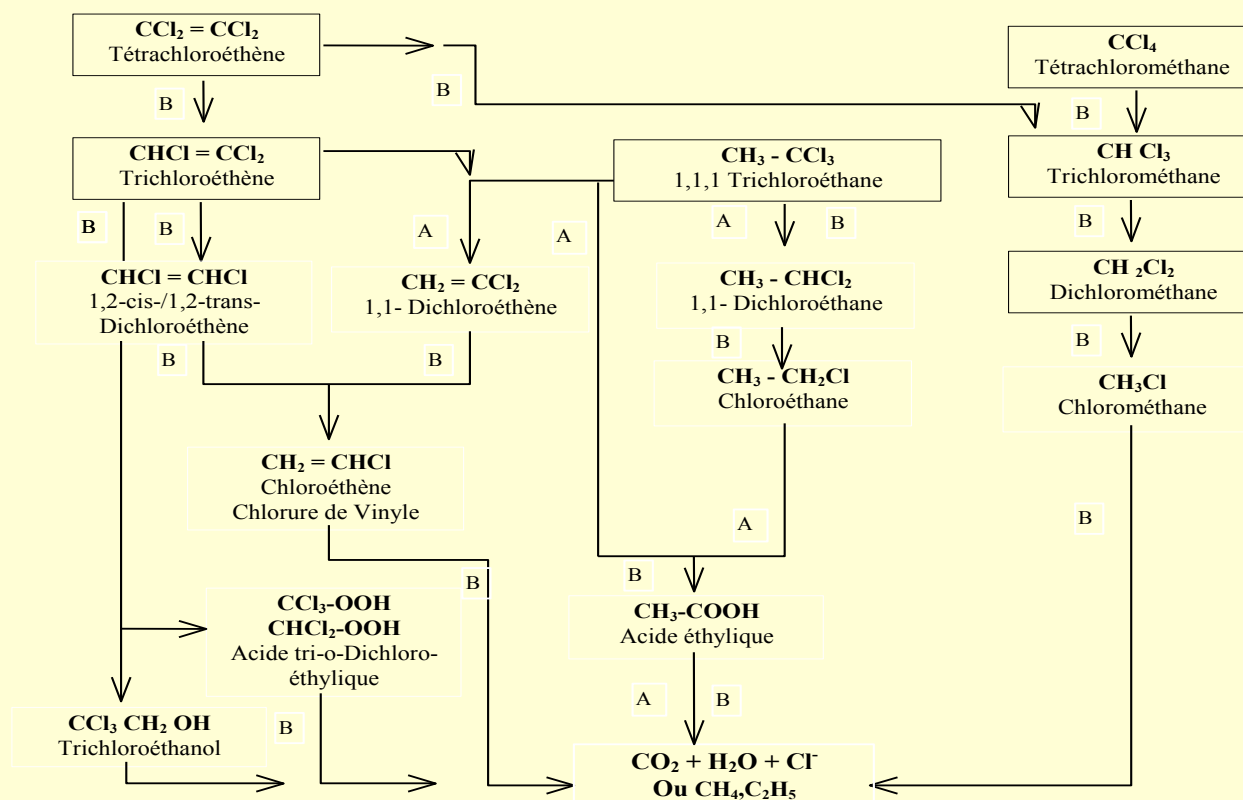
EQRS et ARR : gestion des sites pollués

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



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

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



A = Dégradation abiotique B = Dégradation biotique

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 :

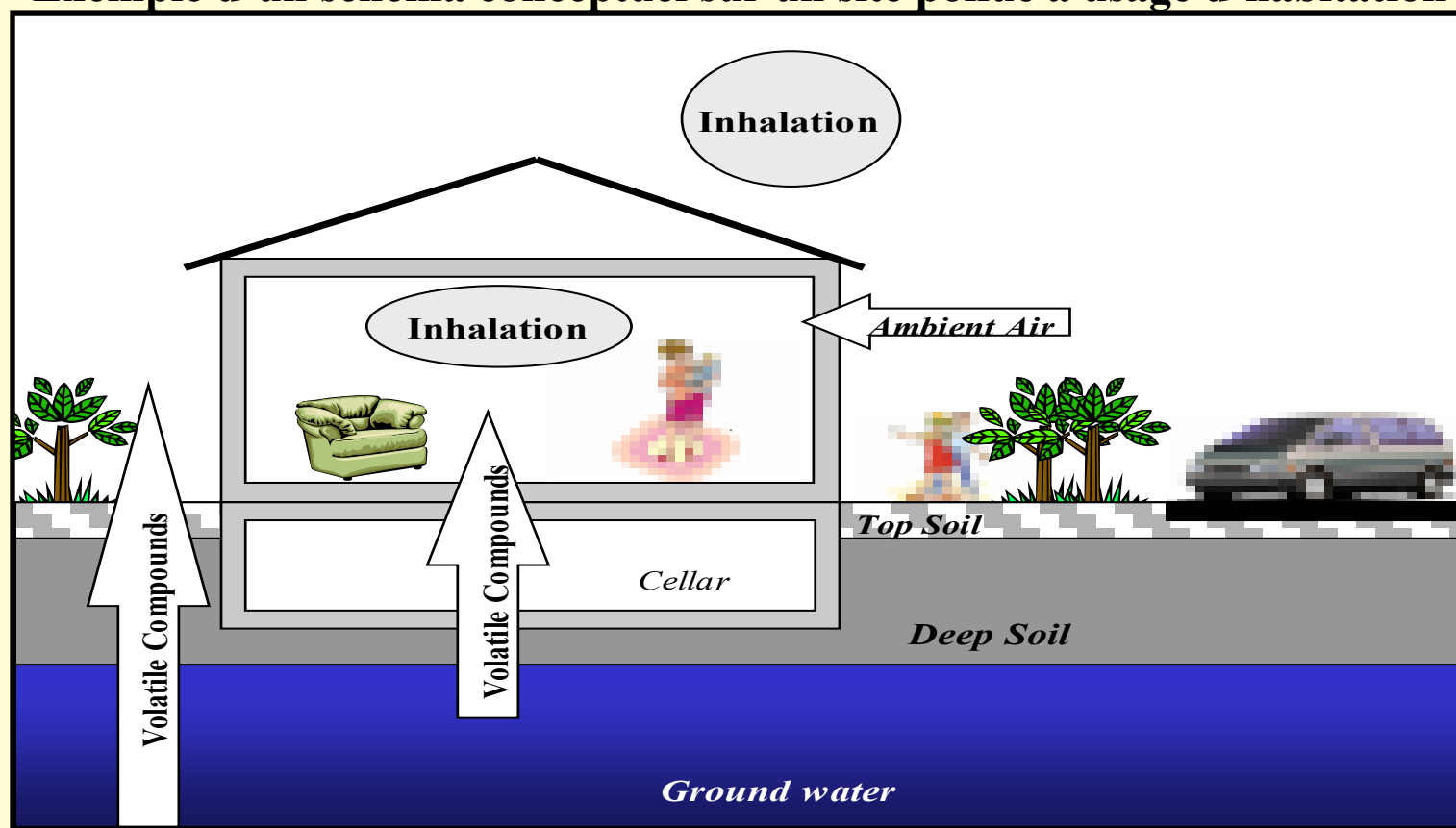
- ingestion directe du sol
- ingestion des aliments auto-produits (fruits, légumes, etc.)
- ingestion d'eau de distribution contaminée

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

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

$$DJE_{ing} = Cm \cdot \frac{Q_{ing}}{P} \cdot Fa \cdot \frac{Ex}{Ve} \cdot Fexa \cdot Fexj$$

- 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]

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

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

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)**



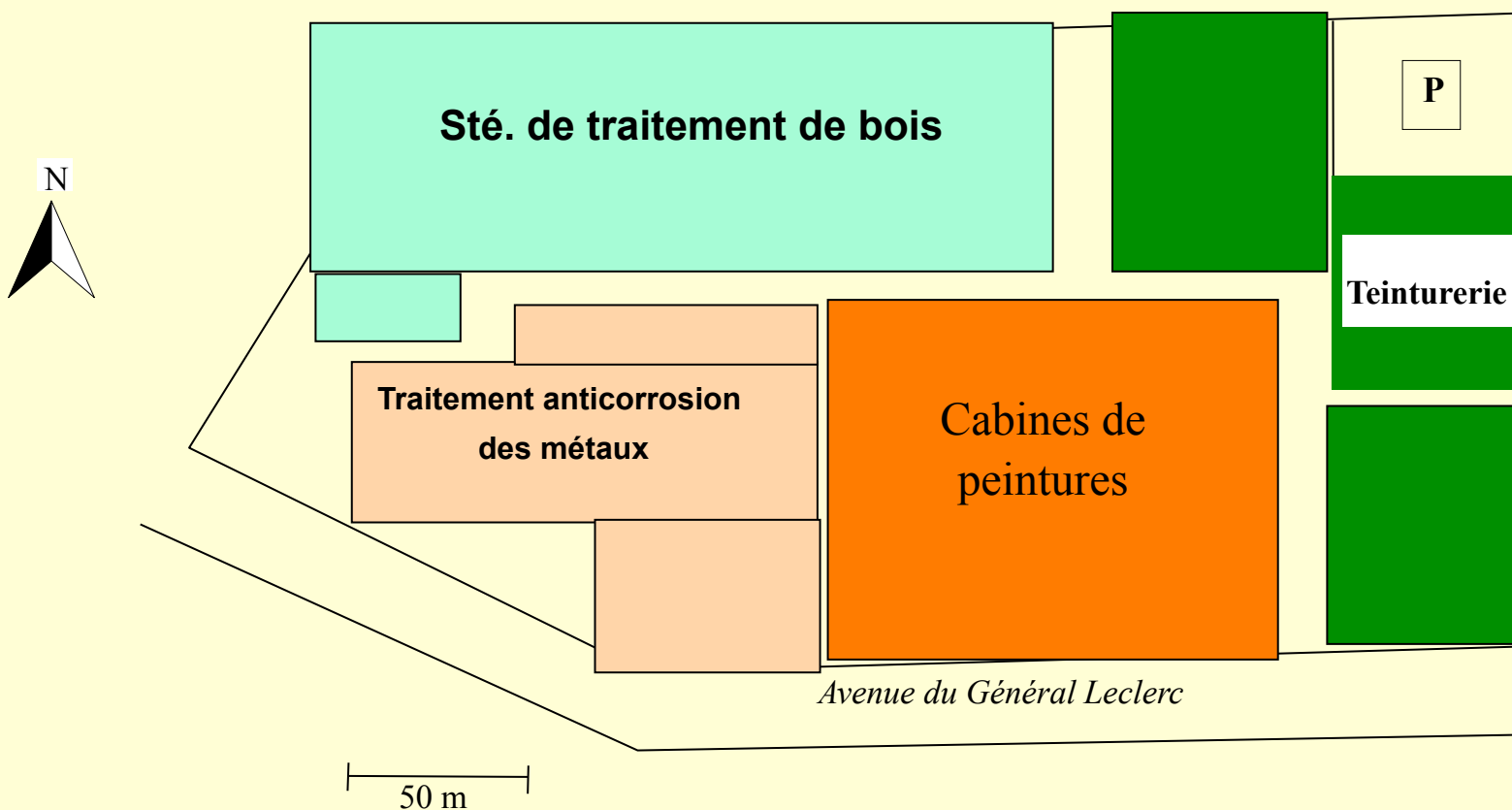
➤ Pollution des sols : PCP, métaux lourds,

➤ 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 : Scénario résidentiel individuel

POLLUANTS	ADULTES		ENFANTS	
	Cancérigène	Non cancérigène	Cancérigène	Non cancérigène
• PCP (Pentachlorophénol)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,41	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,61
• TCE	$0,4 \cdot 10^{-6}$	0,06	$0,3 \cdot 10^{-6}$	0,08
• DCE	-	0,03	-	0,05
• CV	$3,1 \cdot 10^{-5}$	0,83	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1,12
• Benzène	$0,8 \cdot 10^{-5}$	0,08	$0,5 \cdot 10^{-5}$	0,12
• Toluène	-	0,38	-	0,42
• Arsenic	$0,7 \cdot 10^{-4}$	0,11	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,15
• Plomb	-	0,02	-	0,03
• Cadmium	-	0,62	-	0,70
• Aniline	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,034	$0,8 \cdot 10^{-5}$	0,055
• Toluidines	$0,9 \cdot 10^{-4}$	0,018	$0,7 \cdot 10^{-4}$	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 cancérigène total	$4,60 \cdot 10^{-4}$		$4,41 \cdot 10^{-4}$	

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



Risques quantifiés : Scénario espace vert - loisirs

POLLUANTS	ADULTES		ENFANTS	
	Cancérigène	Non cancérigène	Cancérigène	Non cancérigène
• PCP (Pentachlorophénol)	$0,81 \cdot 10^{-5}$	0,032	$0,728 \cdot 10^{-5}$	0,041
• TCE	$0,02 \cdot 10^{-6}$	0,041	$0,01 \cdot 10^{-6}$	0,058
• DCE	-	0,0022	-	0,0016
• CV	$0,42 \cdot 10^{-5}$	0,061	$0,31 \cdot 10^{-5}$	0,082
• Benzène	$0,03 \cdot 10^{-6}$	0,0071	$0,027 \cdot 10^{-6}$	0,011
• Toluène	-	0,022	-	0,034
• Arsenic	$0,21 \cdot 10^{-5}$	0,0097	$0,13 \cdot 10^{-5}$	0,014
• Plomb	-	0,0082	-	0,015
• Cadmium	-	0,051	-	0,073
• Aniline	$0,21 \cdot 10^{-5}$	0,0022	$0,12 \cdot 10^{-5}$	0,0041
• Toluidines	$0,93 \cdot 10^{-6}$	0,0087	$0,78 \cdot 10^{-6}$	0,012
• Dermatotoxique		0,041		0,052
• Hepatotoxique		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 cancérigène total	$1,75 \cdot 10^{-5}$		$1,37 \cdot 10^{-5}$	

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



ARR

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.

Atténuation Naturelle et Concentrations des Milieux

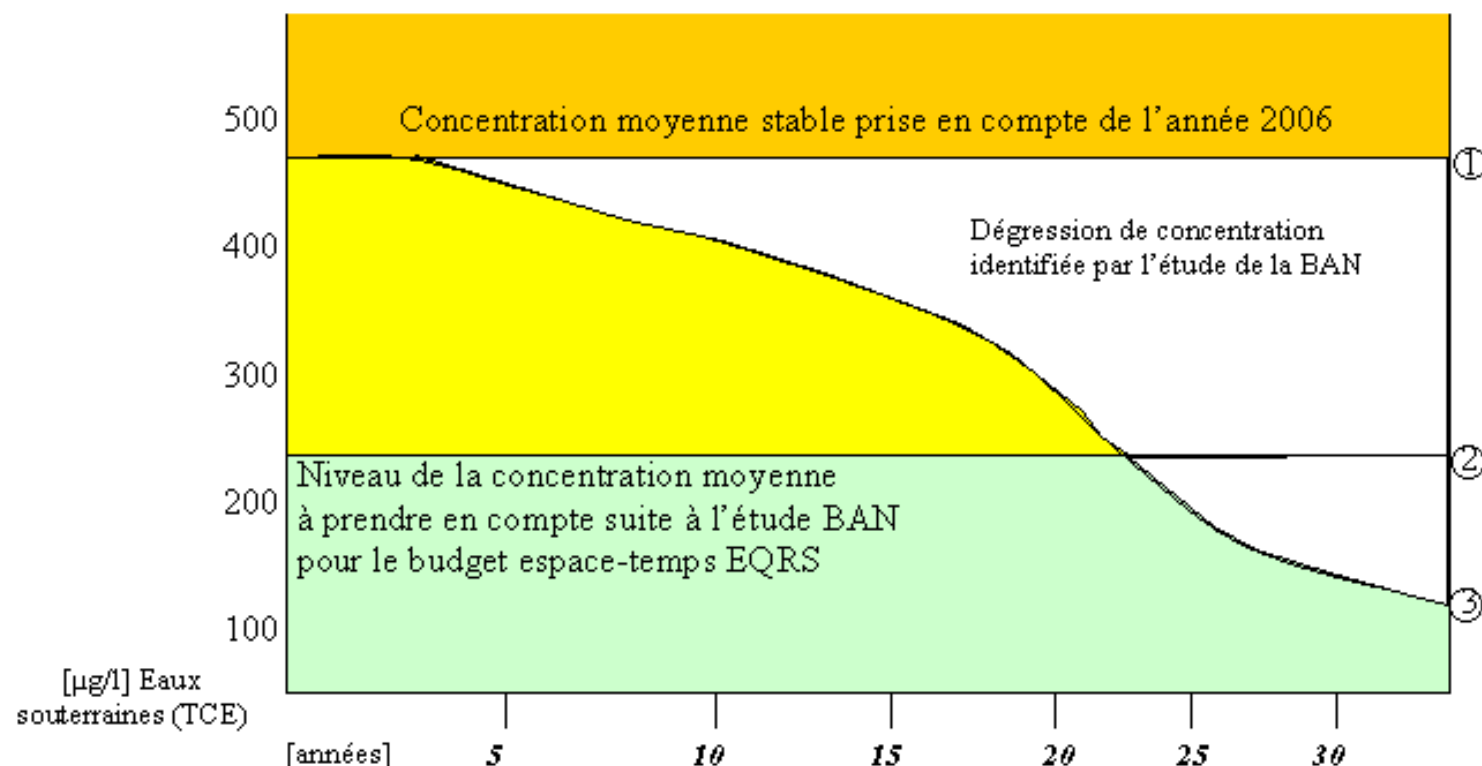
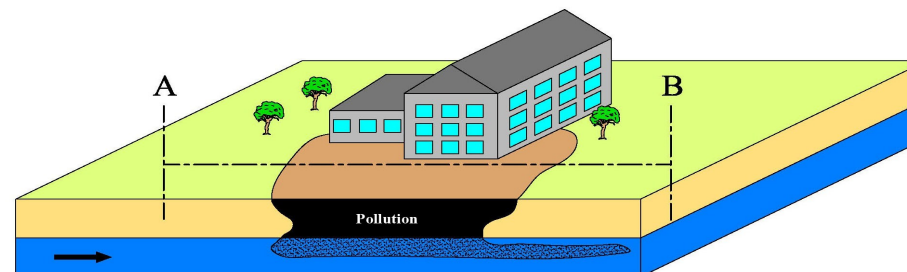


Schéma 3 : Concentrations en polluants (par ex. : le trichloréthylène) dans les eaux souterraines et la quantification des expositions par l'EQRS et l'ARR concernant l'inhalation des vapeurs d'émanations et l'usage des eaux en cas :

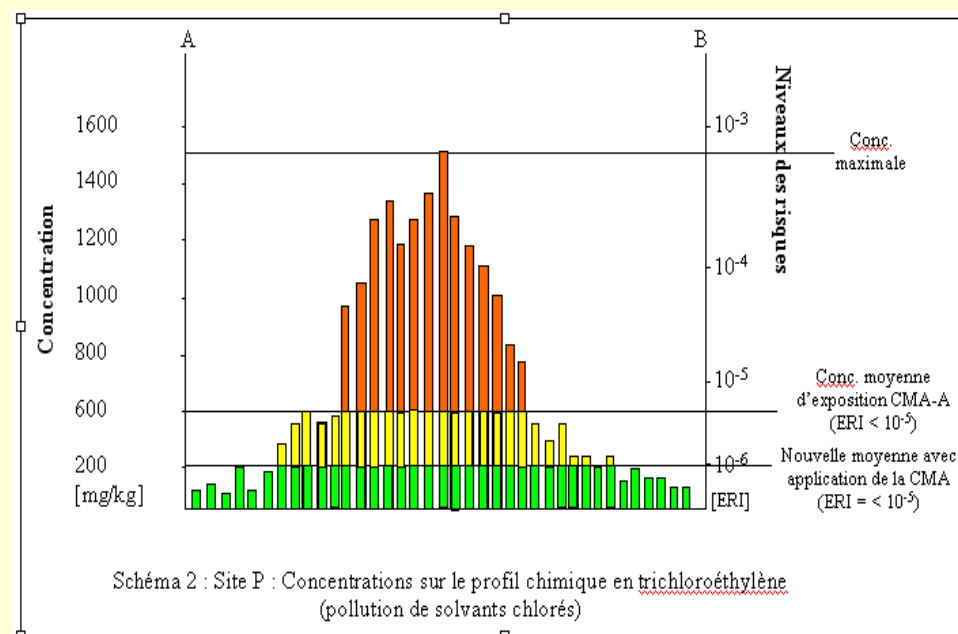
- ① Concentration stable (niveau 2006)
- ②+③ Concentration dégressive avec une pente déterminée par une étude détaillée de BAN

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Schéma 1 : Site P : Profil chimique dans la zone d'exposition « résidentielle collective du site P »



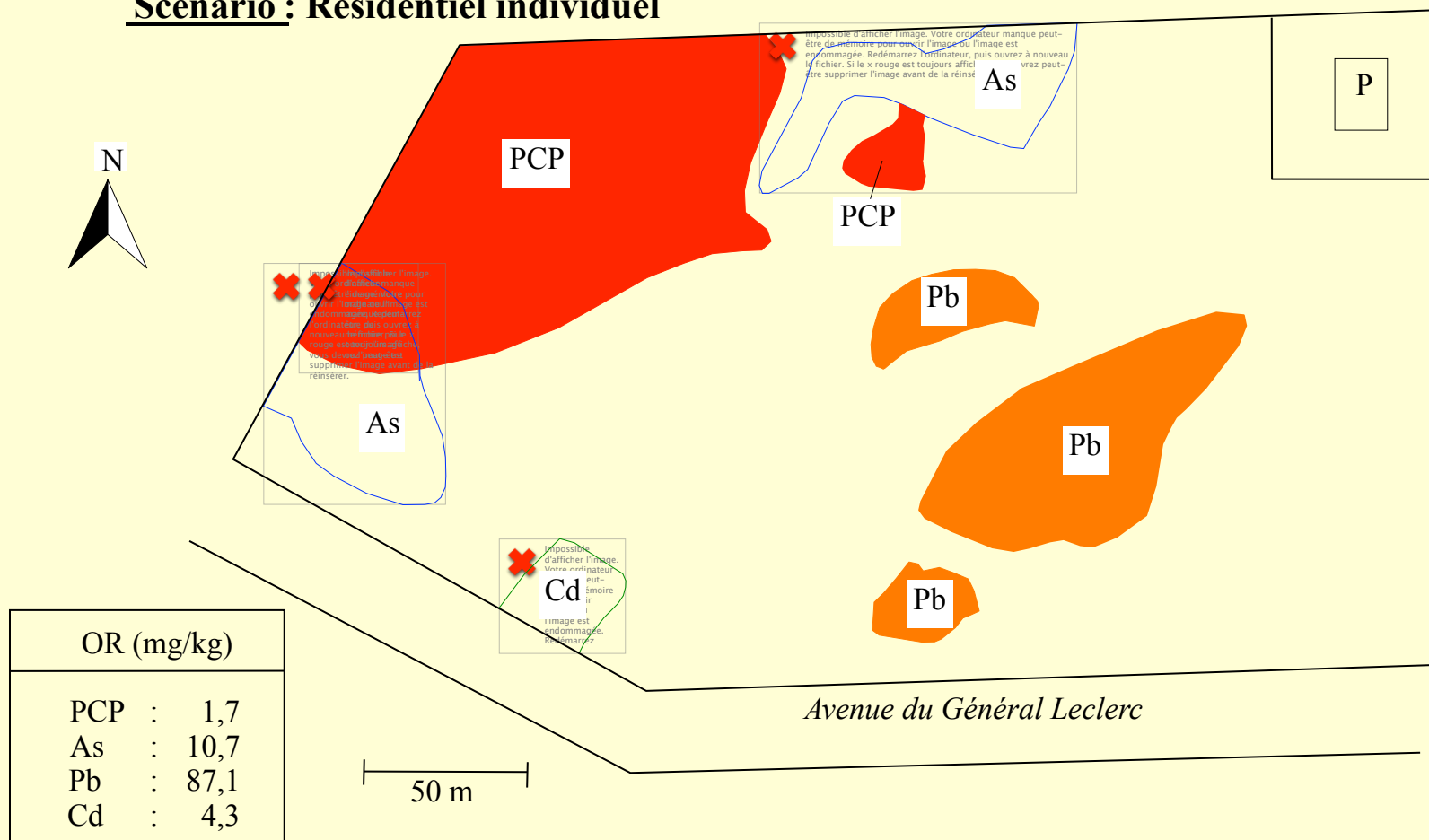
A-B : Coupe chimique de la zone polluée



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

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

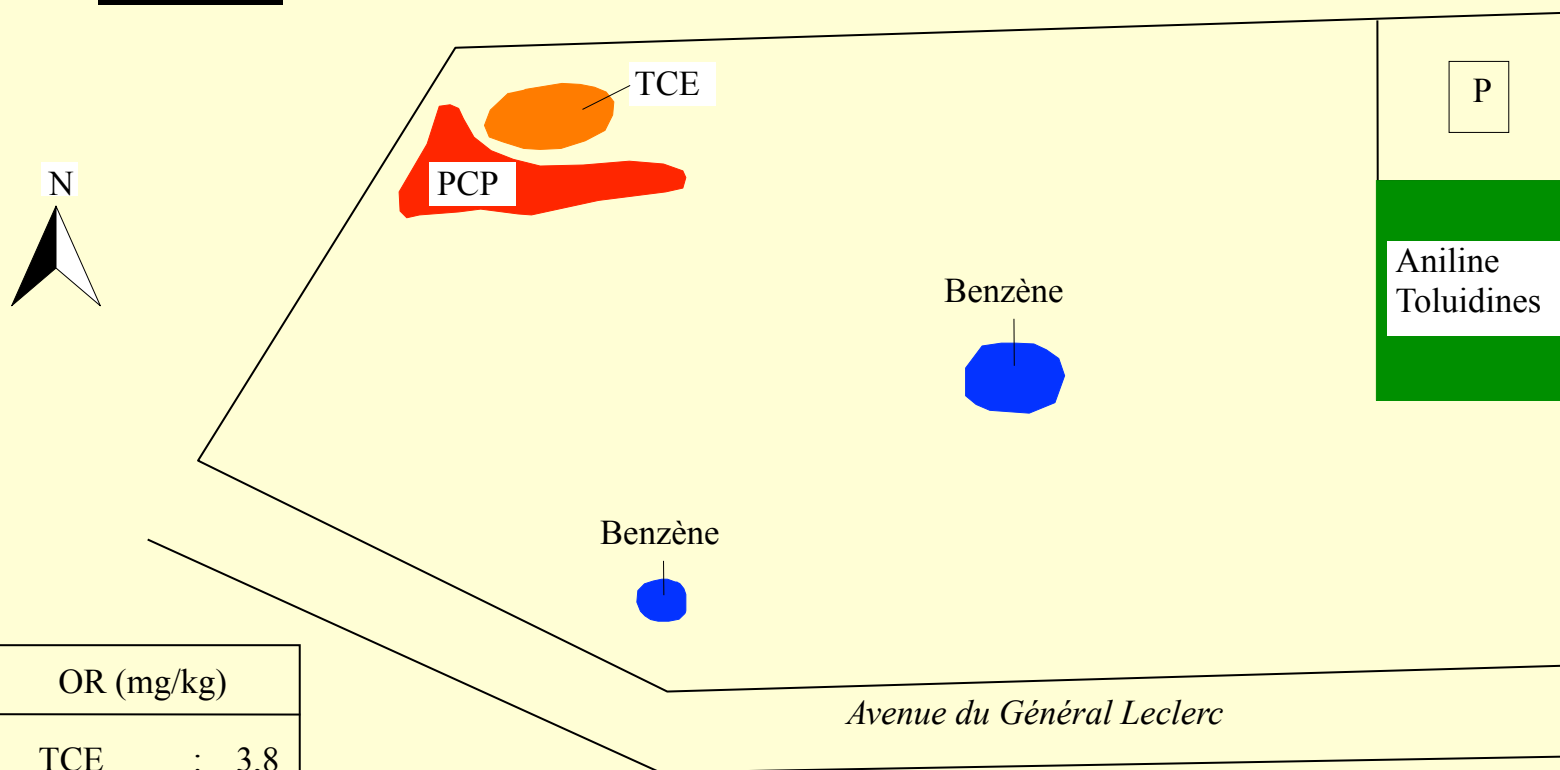
Scénario : Résidentiel individuel



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

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

Scénario : Résidentiel individuel

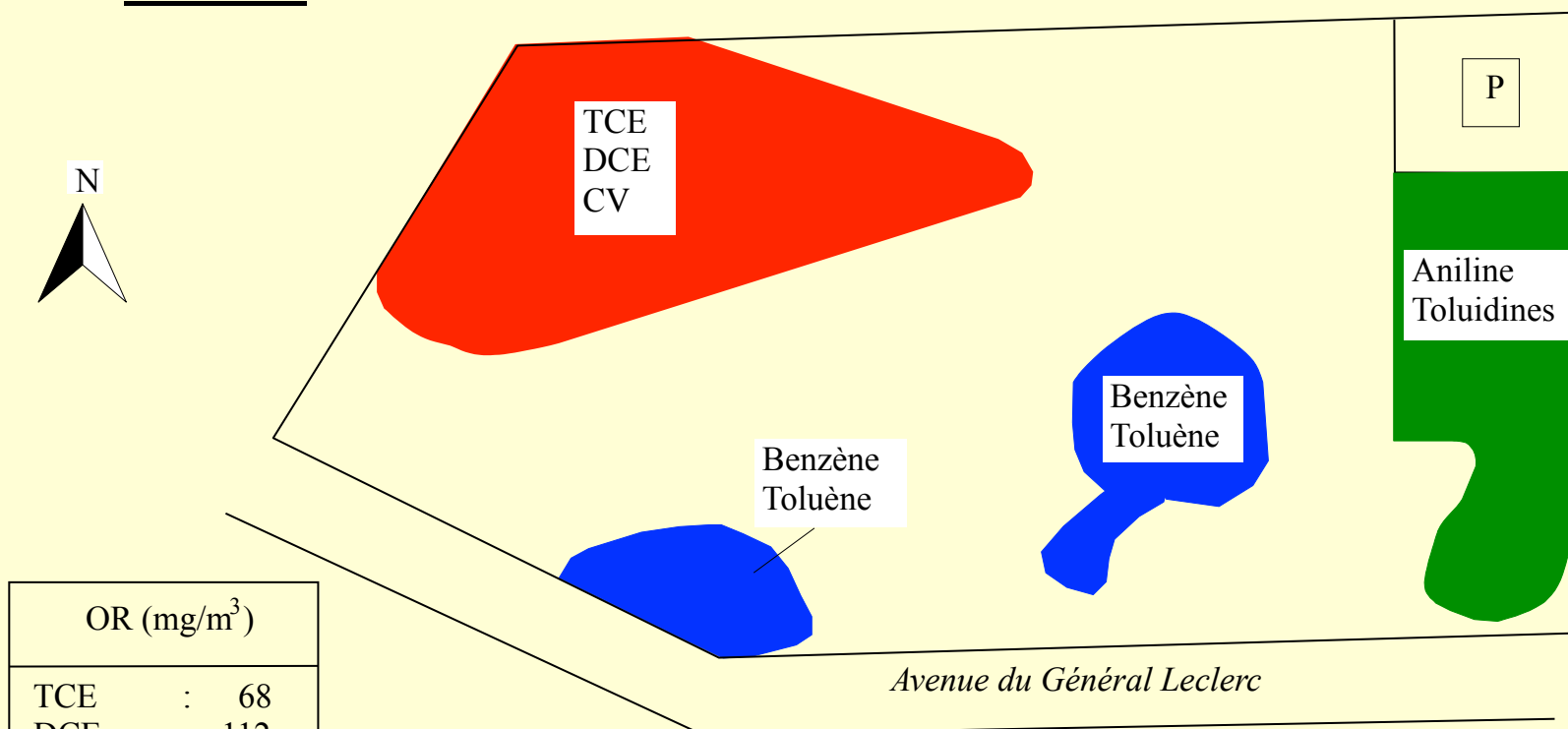


OR (mg/kg)	
TCE	: 3,8
PCP	: 15,6
Benzène	: 2,1
Aniline	: 3,2
Toluidines	: 5,8

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

Air du sol : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

Scénario : Résidentiel individuel

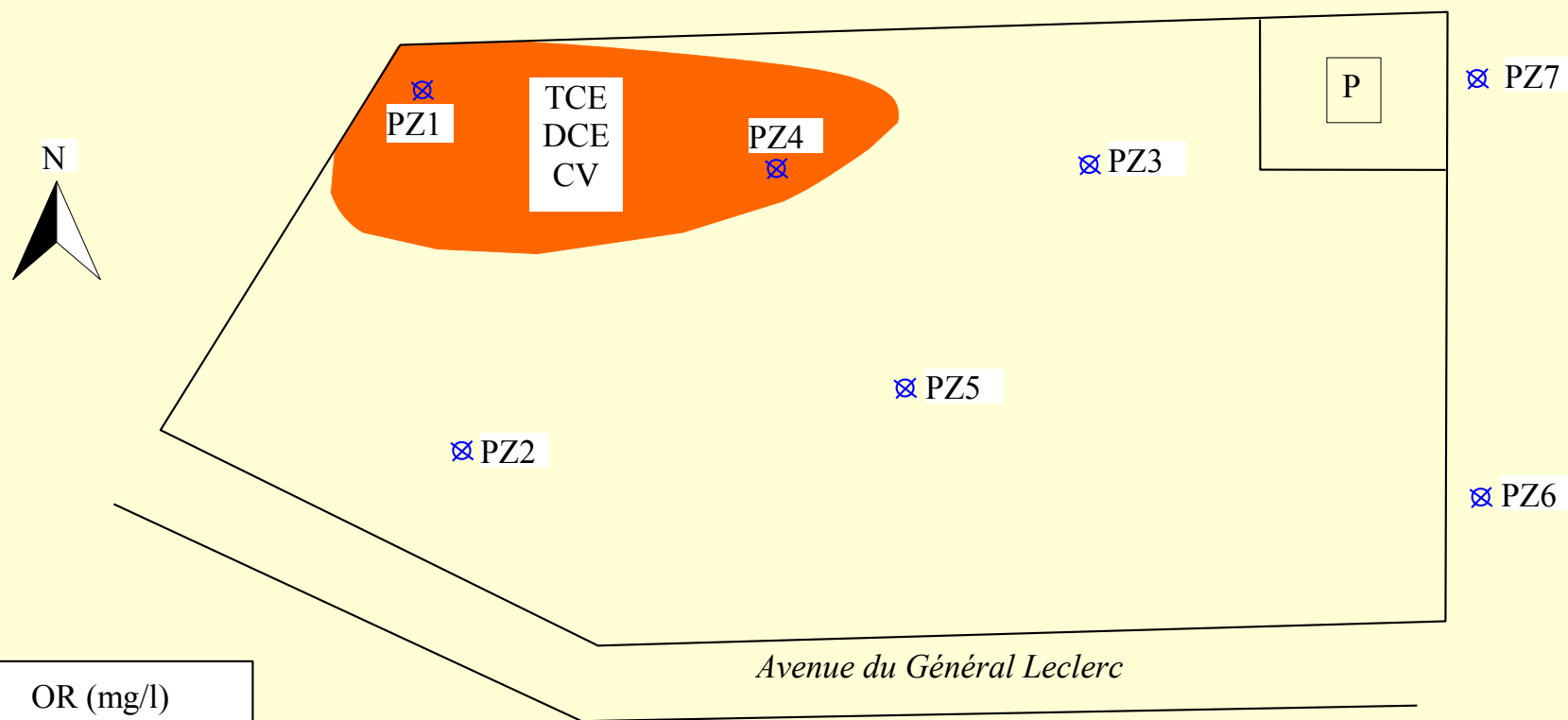


OR (mg/m ³)	
TCE	: 68
DCE	: 112
CV	: 4,3
Benzène	: 51
Toluène	: 163
Aniline	: 42
Toluidines	: 63

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

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

Scénario : Résidentiel individuel



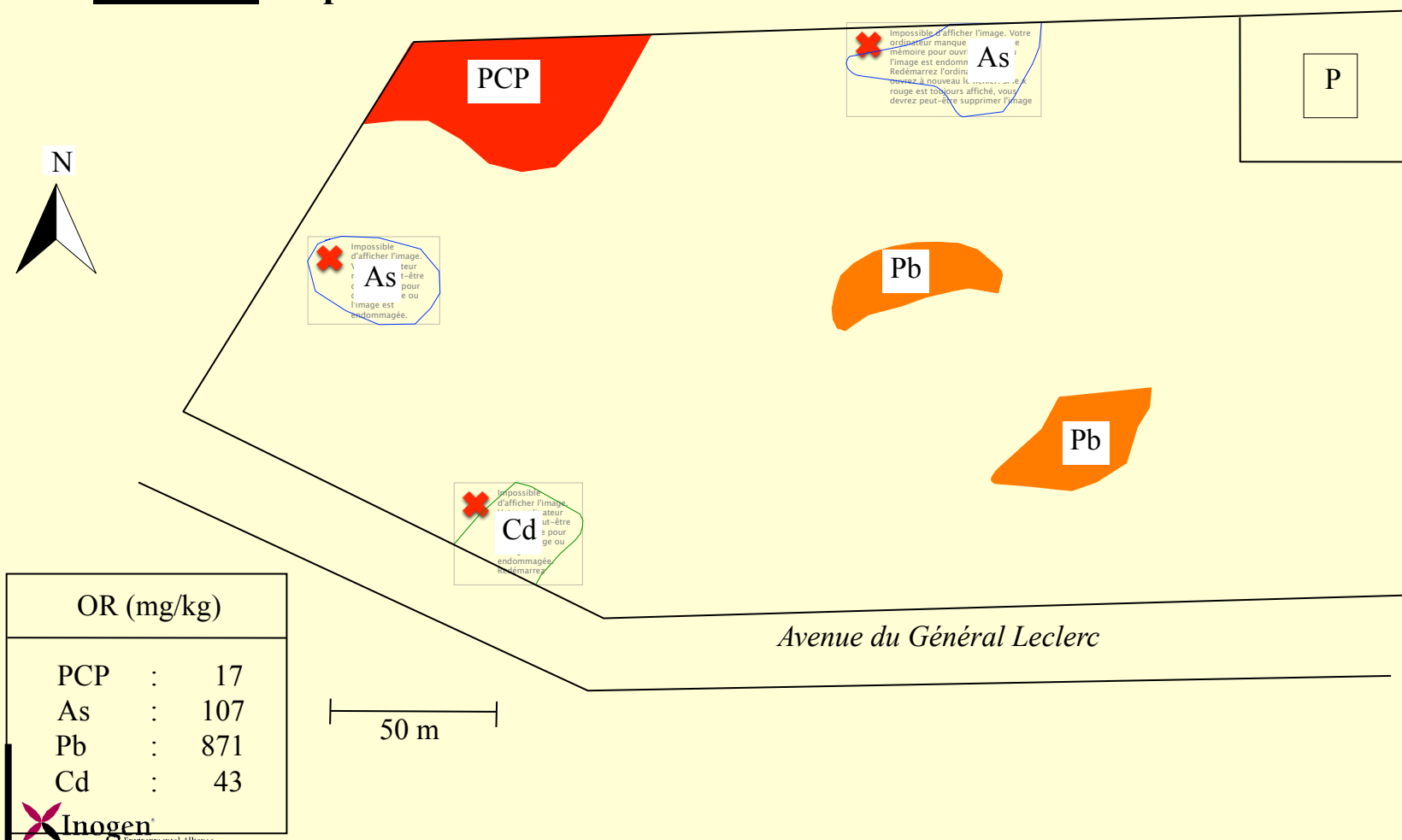
OR (mg/l)	
TCE	: 0,056
DCE	: 0,098
CV	: 0,019

50 m

EQRS et ARR : gestion des sites pollués

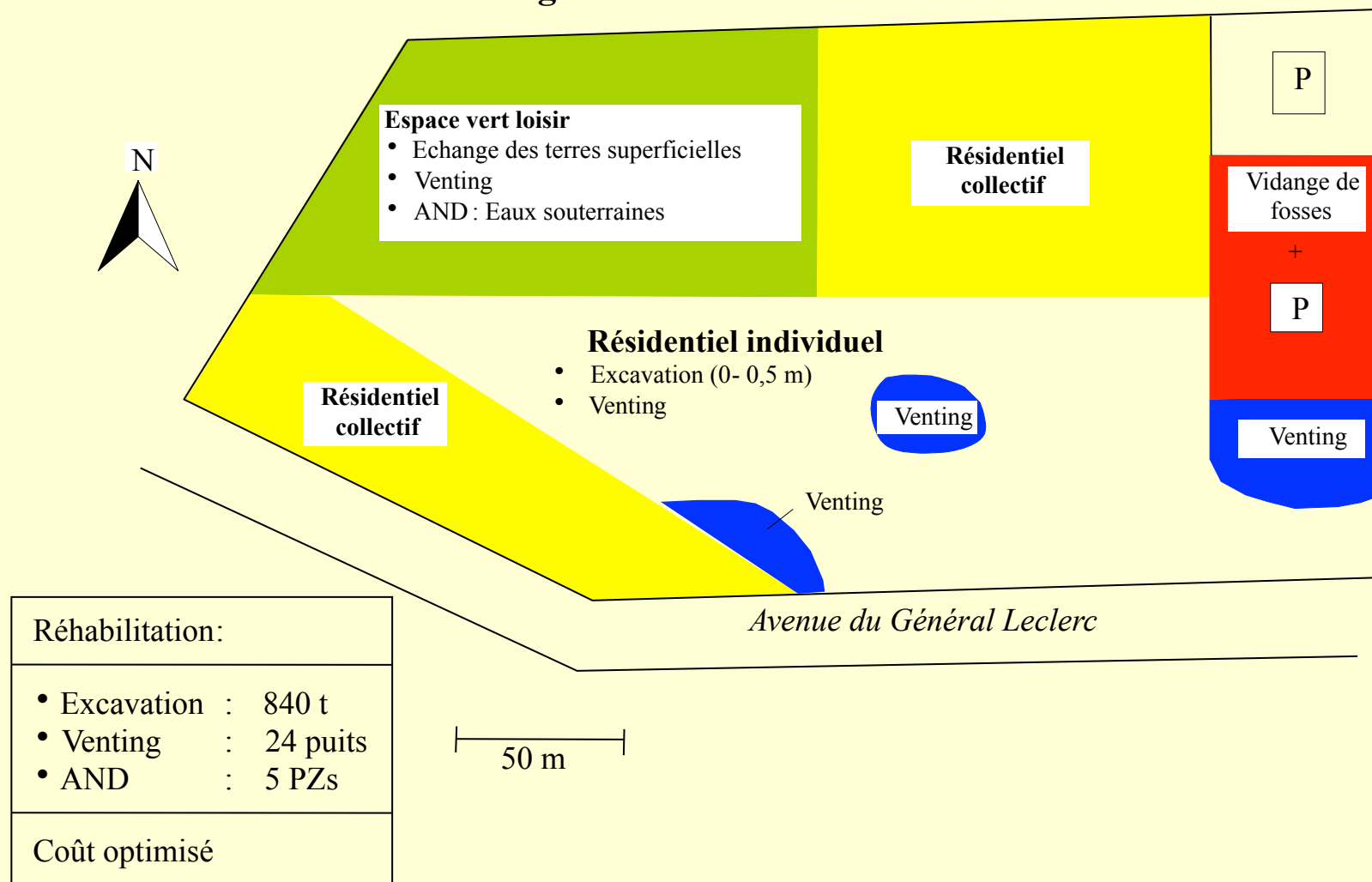
Sol : 0,0 - 0,3 m : Concentrations > Objectifs de réhabilitation

Scénario : Espace vert- loisirs



EQRS et ARR : gestion des sites pollués

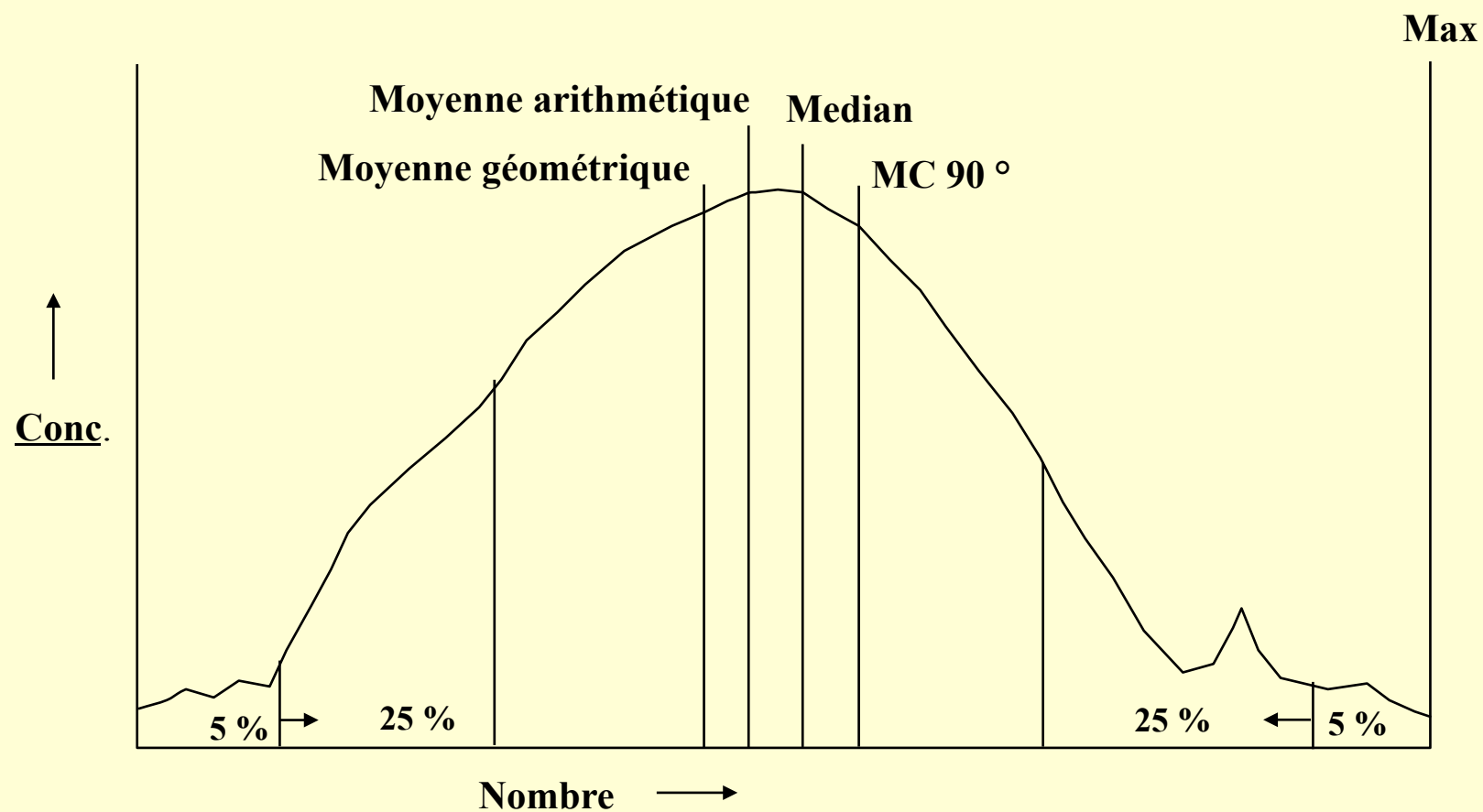
Réhabilitation et aménagement retenus



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



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

