



De la Wallonie  
d'hier, nous  
créons celle  
de demain

---

# Utilisation de l'outil S-RISK WAL

## Retour d'expérience

**Marie JAILLER**

**Formation FEDEXSOL - Jeudi 14 novembre 2019**

# Cas présentés...pour en discuter

1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?
2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation
3. Projet d'assainissement avec modélisation d'une couche de terres « saines » d'épaisseur variable
4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

# Cas présentés...pour en discuter



**Les démarches expliquées ici n'engagent que SPAQUE. L'utilisation des résultats de cette présentation n'est pas automatiquement transposable dans un autre contexte.**



**Cette présentation a pour objectif principal de partager des réflexions autour de S-RISK en vue de l'améliorer**

1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

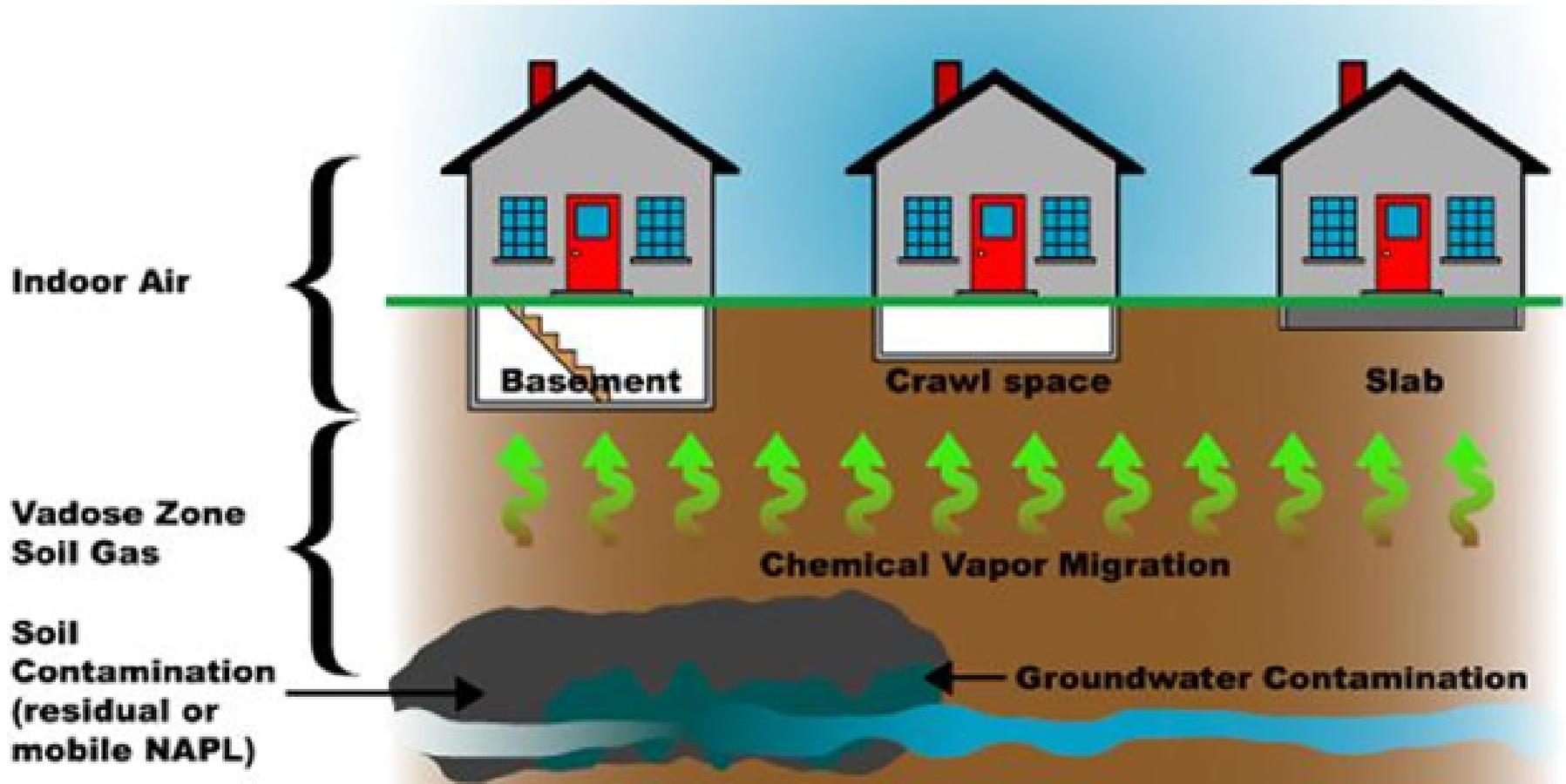
2013 à 2016 → GRER v1 et v2 : outil de modélisation RISC-HUMAN (*bâtiment avec vide ventilé*)

2014 : le BRGM édite un guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP (→ bâtiment avec vide ventilé)

2017 à aujourd'hui → GRER v3 et v4 : outil de modélisation S-RISK WAL (*bâtiment avec sous-sol*)

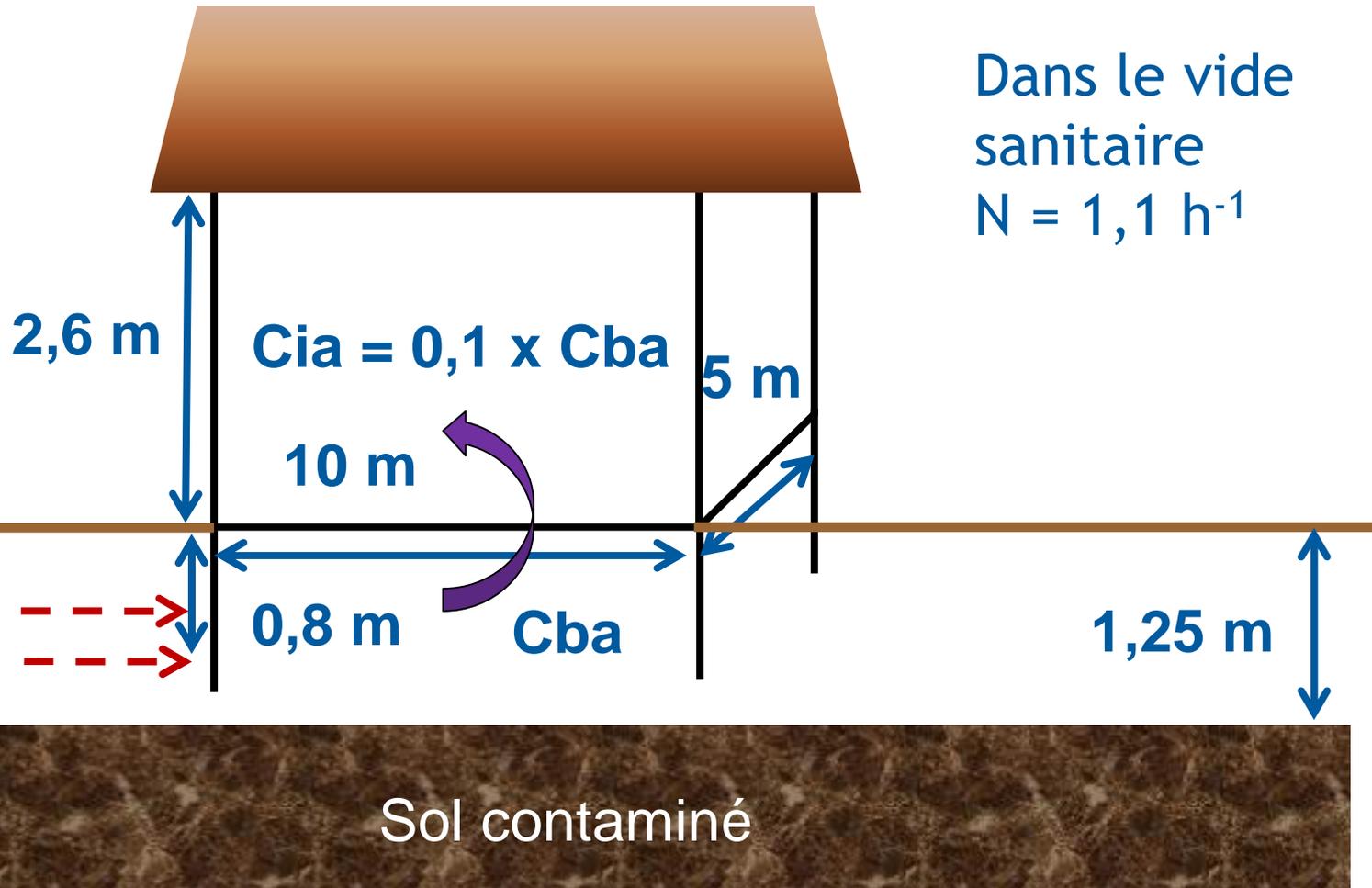
Quelles sont les recommandations à formuler à un aménageur à l'issue de l'évaluation des risques et à imposer dans le CCS ?

# Exposition par inhalation de vapeur : 3 types de construction possibles



# GRER v1-v2 : modèle RISC-HUMAN (CSOIL)

Bâtiment  
avec vide  
sanitaire



1. Comportement de RISC-HUMAN / type de construction  
Bâtiment standard retenu pour élaborer les VS\_H  
(GRERv1 - GRERv2)

Caractéristiques du bâtiment standard Avec vide sanitaire ventilé	Unité	Valeur par défaut (VS_H)
Superficie de la base	m <sup>2</sup>	50 (=10 x 5)
Hauteur vide ventilé	m	0,8
Hauteur RdC	m	2,6
Volume vide ventilé	m <sup>3</sup>	40
Volume RdC	m <sup>3</sup>	130
Epaisseur dalle RdC	m	0,10
Taux de renouvellement vide ventilé	h <sup>-1</sup>	1,1
Taux de renouvellement RdC (indoor space)	h <sup>-1</sup>	Remplacé par Cia = Cba x 0,1

# GRER v3-v4 : modèle S-RISK (VOLASOIL)

Dilution dans  $V_i + V_b$

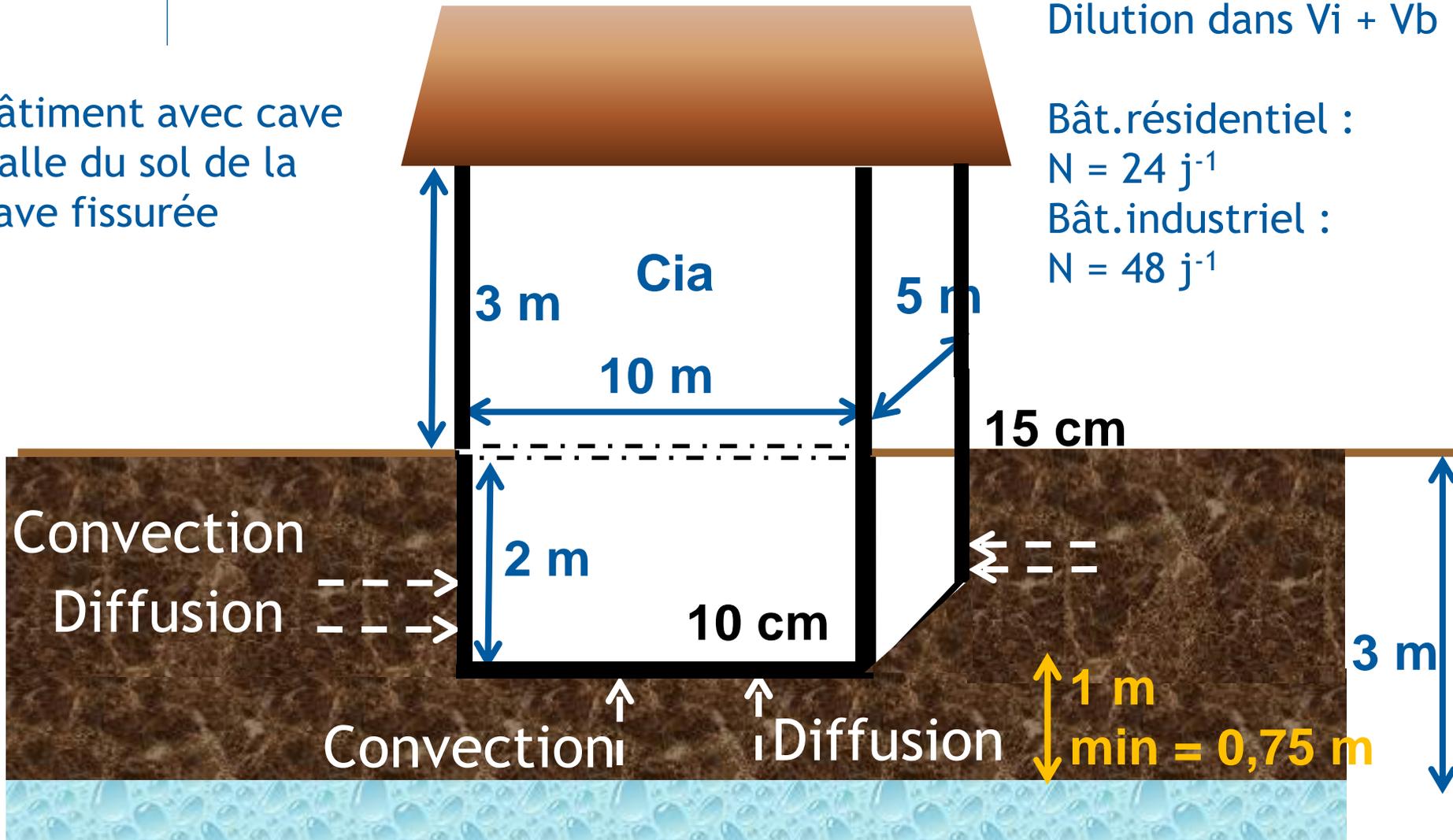
Bât. résidentiel :

$N = 24 \text{ j}^{-1}$

Bât. industriel :

$N = 48 \text{ j}^{-1}$

Bâtiment avec cave  
Dalle du sol de la  
cave fissurée



1. Comportement de S-RISK/ type de construction  
Bâtiment standard retenu pour élaborer les VS\_H  
(GRERv3 - GRERv4)

Caractéristiques du bâtiment standard Avec sous-sol (non habité)	Unité	Valeur par défaut (VS_H)
Superficie de la base	m <sup>2</sup>	50
Hauteur sous-sol	m	2
Hauteur RdC	m	3
Volume sous-sol	m <sup>3</sup>	100
Volume RdC	m <sup>3</sup>	150
Epaisseur dalle RdC	m	0,10
Taux de renouvellement sous-sol	h <sup>-1</sup>	X dilution dans la somme des 2 volumes
Taux de renouvellement RdC (indoor space)	h <sup>-1</sup>	1

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

Tests réalisés avec RISC-HUMAN v3.3 puis S-RISK WAL

Hypothèses retenues

Constructions testées : un bâtiment de  $L = 10$  m et  $l = 5$  m et de  $H = 3$  m

- Soubassement 1 : vide sanitaire de  $h = 0,8$  m
- Soubassement 2 : sous-sol de  $h = 2$  m
- Soubassement 3 : plain pied

Polluants

Benzène, benzo(a)pyrène, naphthalène, TCE, C10-C12 aliphatique, C10-C12 aromatique

Concentrations dans les sols

1 mg/kg pour chaque polluant

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

Résultats du passage d'un type de soubassement à un autre  
Comparaison au sein du même modèle

Ratio	C_Vide sanitaire /C_sous-sol	C_sous-sol / C_plain pied	C_vide sanitaire/ C_plain pied
RISC-HUMAN v3.3	40	1	45
S-RISK WAL	0,2	15	3

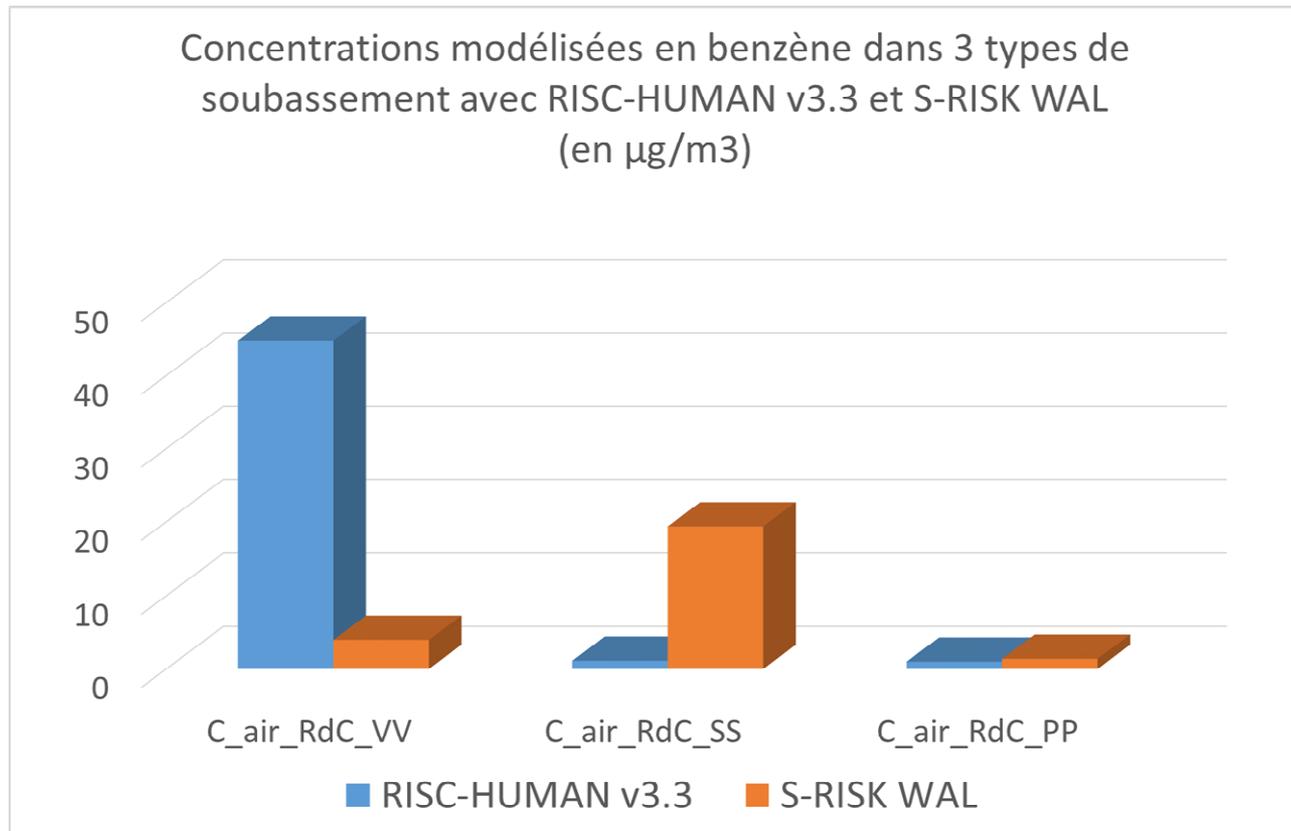
Conclusions :

- 1) sous-bassement retenu au stade du calcul VS\_H précautionneux dans le GRERv1-v2 (Risc-Human/vide sanitaire) puis dans le GRER v3-v4 (S-RISK WAL/sous-sol)
- 2) Soubassements proposés en restrictions d'utilisation **en orange** et **en bleu**

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

## Résultats du passage d'un type de soubassement à un autre Comparaison des 2 modèles

**C<sub>sol</sub> =  
1 mg/kg**



# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

## Comparaison des flux modélisés dans S-RISK WAL (benzène)

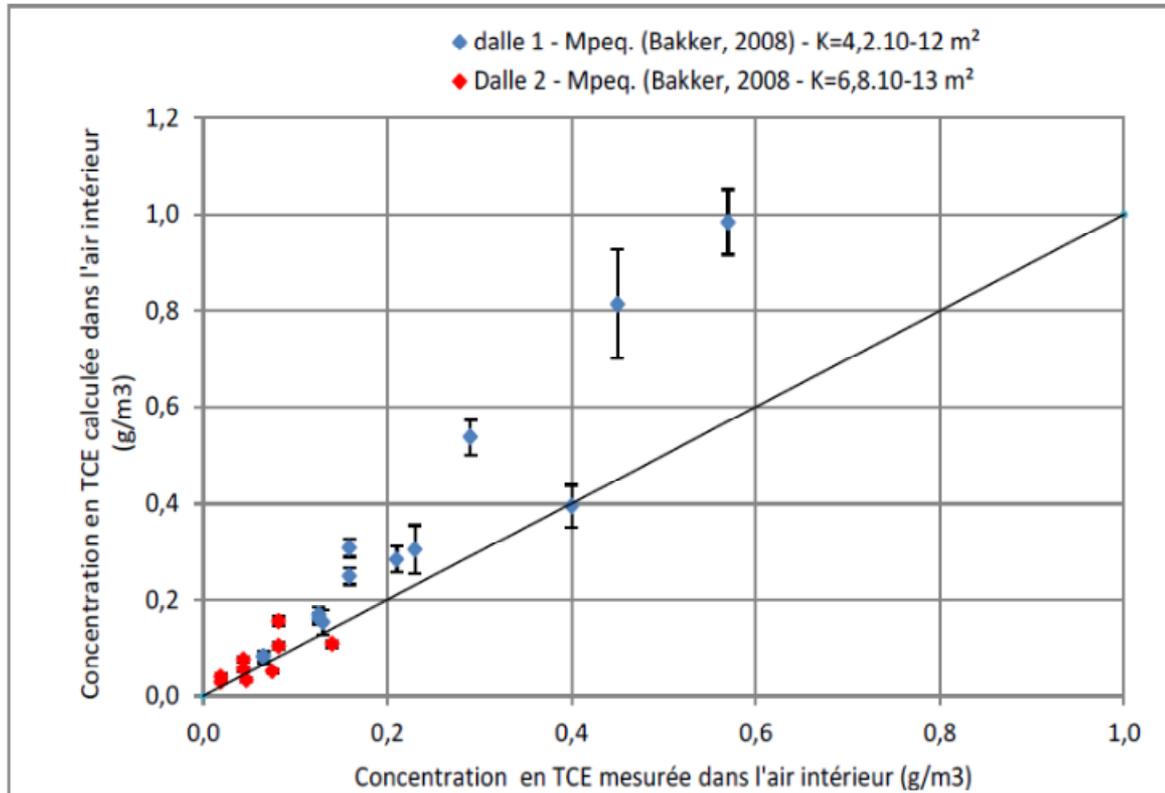
	S-RISK WAL	vide sanitaire	sous-sol	plain pied
	C_air_sol (mg/m <sup>3</sup> )	123,9	123,9	123,9
	C_air_RdC (µg/m <sup>3</sup> )	3,9	19,3	1,39
	<i>Flux total de contaminant vers le RdC (mg/m<sup>2</sup>.j)</i>	2,67	2,46	0,11
SOL	Flux de cont. vers le vide ventilé (mg/m <sup>2</sup> .j)	4,1	/	/
	Flux de cont. vers le RdC à travers la dalle / le vide ventilé (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,29	0	0,1
	Flux direct de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	2,15	2,15	/
	Flux indirect de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0	0	/
EAU SOUTERRAINE	Flux de cont. vers le vide ventilé (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,22	/	/
	Flux de cont. vers le RdC à travers la dalle / le vide ventilé (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,02	0,04	0,01
	Flux direct de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0	0	/
	Flux indirect de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,21	0,27	/

1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment :  
modélisation vs guide BRGM ?

Préconisations du guide BRGM (2014) pour limiter l'intrusion de  
vapeurs (« vapor intrusion ») lors de la construction d'un nouveau  
bâtiment

- Limiter la surface d'échange entre le bâtiment et le sol et/ou limiter les usages en sous-sol [*exposition non étudiée dans les VS\_H calculées à ce jour*]
- Rendre la surface d'échange la plus étanche possible aux substances volatiles : intégration d'une membrane en PEHD ou PVC aux fondations avant coulage du radier, béton de bonne qualité (teneur en ciment à augmenter)
- Créer un volume tampon entre le sol et les pièces d'exposition : **mise en place d'un vide sanitaire accessible** ( $h_{\min} = 0,6$  m)
- Capturer et évacuer les substances volatiles : mise en place d'un système de drainage des gaz du sol par dépressurisation dans le vide sanitaire

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ? Retour d'expérience - Guide FLUXOBAT



Bakker *et al.* (2008) =  
module de S-RISK

« Bonne reproduction  
par la modélisation  
analytique de Bakker  
*et al.* (2008) des  
concentrations  
mesurées »

**FIGURE 76 – COMPARAISON DES CONCENTRATIONS DANS L’AIR INTERIEUR EN  
TCE MESUREES ET MODELISEES AVEC BAKKER ET AL. 2008 (SITE PILOTE  
SCERES)**

Source : Traverse S. *et al.*  
(2013). Projet FLUXOBAT,  
Evaluation des transferts de  
COV du sol vers l’air  
intérieur et extérieur. Guide  
méthodologique

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

Etude de comparaison mesures/modèles réalisée par l'INERIS (2009)

- ❑ Mesures de TCE (site 1), de benzène et de naphthalène (site 2) dans le sol, l'air du sol (piézaires), dans l'air ambiant intérieur et extérieur au droit de 2 anciens sites industriels
- ❑ Mesures des paramètres hydrauliques (taux de renouvellement d'air, etc)
- ❑ Modélisation dans Johnson & Ettinger et dans VOLASOIL (→ Bakker *et al.* → S-RISK)

Résultats pour VOLASOIL - Ratio  $C_{\text{modélisée}} / C_{\text{mesurée}}$  :

Benzène : ratio  $>$  à 1 ordre de grandeur (x 10 à x 100)

Naphthalène : ratio  $<$  ou proche d'1 ordre de grandeur (x 1 à x 10)

Références : Hulot C. *et al.* (2009). Emission de polluants gazeux dans les bâtiments à partir d'un sol pollué : comparaison mesures sur sites et modélisations

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

## Discussion

### Questions (non résolues) :

Les tests effectués sur 3 types de soubassement dans les 2 modèles RISC-HUMAN et S-RISK WAL indiquent que le soubassement limitant le transfert des vapeurs est le plain pied. Ceci est en contradiction avec le guide BRGM (2014) et la circulaire française (2007).

Q1. Entre modélisation et bon sens, quel type de soubassement imposer dans le cadre d'un projet d'aménagement?

Q2. Comment formuler ces restrictions d'aménagement dans le CCS ?

### Propositions SPAQuE :

P1. Rassembler les retours d'expérience des différents bureaux d'études (mesures d'air /modélisations)

P2. Proposer une amélioration du modèle S-RISK WAL

# 1. Quelles recommandations en matière de construction du bâtiment : modélisation vs guide BRGM ?

## Références bibliographiques

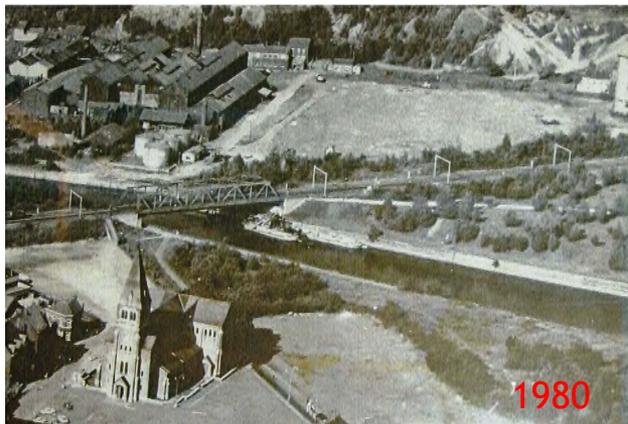
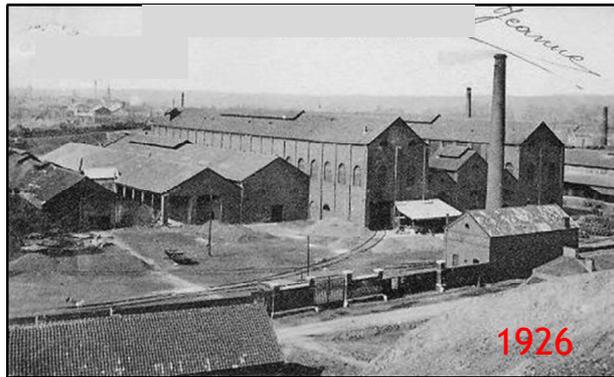
Traverse S. *et al.* (2013). Projet FLUXOBAT, Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur. Guide méthodologique

Leprond H. *et al.* (2014). Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP - rapport BRGM/RP-63675-FR

Hulot C. *et al.* (2009). Emission de polluants gazeux dans les bâtiments à partir d'un sol pollué : comparaison mesures sur sites et modélisations

Circulaire du 08/02/07 relative à l'implantation sur des sols pollués d'établissements accueillant des populations sensibles (France)

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation



- Site géré par SPAQuE
  - Historique : usine de produits chimiques
  - Caractérisation : 68 forages, 40 piézomètres, 26 fouilles
  - $0,05 \text{ mg/kg} < [\text{mercure}]_{\text{sols}} < 3500 \text{ mg/kg}$
  - Moyenne  $[\text{mercure}]_{\text{sols}} = 28 \text{ mg/kg}$
  - Superficie concernée :  $53\,200 \text{ m}^2$
  - Epaisseur moyenne du remblai =  $3,2 \text{ m}$
  - Volume concerné :  $170\,000 \text{ m}^3$
  - Projet d'aménagement : zone habitat
- Nécessité de meilleures connaissances du mercure
- Nécessité d'une évaluation des risques (selon GRERv4)
- Lancement de mesures du gaz du sol

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation



## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Particularités du mercure :

Existe sous différentes formes, volatiles ou non, peu ou très toxiques

Que dit le GRER ?

« *VS\_H (Valeur limite dans les sols pour protéger la santé humaine) = 95 % de mercure inorganique (chlorure mercurique) et 5 % de méthyl mercure (chlorure de méthyl mercure)*

*MAIS si pollution attendue en mercure métallique (volatil et très toxique), il faut réaliser une évaluation détaillée des risques (EDR) liés à l'inhalation de celui-ci »*

Plan d'action

1. Réaliser des analyses pointues dans les sols pour connaître la répartition des différentes formes du mercure dans les sols (spéciation) → Non
2. Réaliser des analyses d'air du sol pour connaître la quantité de mercure volatil → Oui
3. Prendre en compte ces éléments pour l'EDR → Non

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

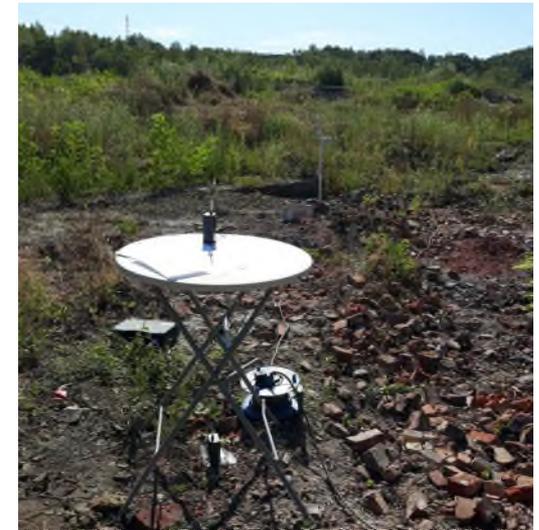
### Questions à se poser (cf. Guide FLUXOBAT) :

- (1) La pollution est-elle volatile ?
- (2) Comment cette pollution migre dans la zone non saturée ?
- (3) Comment cette pollution migre vers l'air intérieur et extérieur ?
- (4) Génère-t-elle un risque sanitaire ? Les mesures de concentrations dans les gaz du sol ne répondent pas directement à cette question mais sont utilisées pour l'interprétation des mesures dans l'air intérieur ou comme conditions limites de la modélisation.
- (5) Comment dépolluer ou minimiser son transfert ?
- (6) Comment vérifier l'atteinte des objectifs puis conduire la surveillance ?

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Mesures des gaz du sol et d'air ambiant réalisées en juillet 2019 – Rapport en août 2019

Composé : mercure  
Type de prélèvement : actif  
Support : Carulite 200  
(oxydes de Mn et Cu)  
Débit : 0,5 L/min  
Durée : 480 min  
LOQ : 0,005 µg/tube



### Conclusions:

- **Présence de mercure volatil en quantités significatives dans les gaz du sol et dans l'air ambiant.**
- **Nécessité de réaliser une série d'études détaillées des risques (santé humaine).**
- **Pertinence de maintenir la zone d'habitat dans le projet d'aménagement ?**

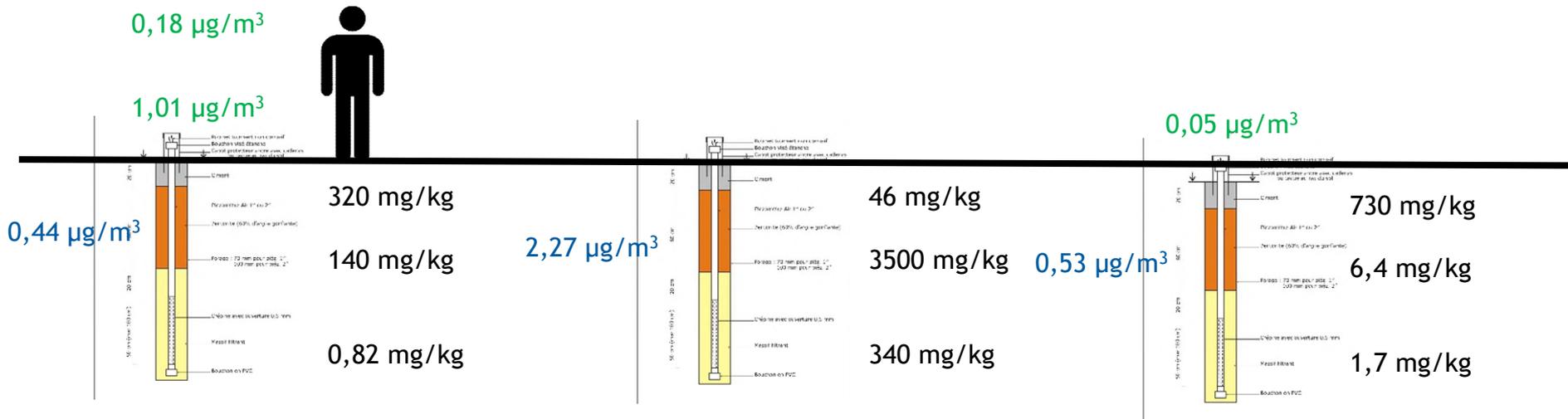
## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Mesures dans les sols en noir  
 5 mesures d'air du sol en bleu  
 3 mesures d'air ambiant en vert

### F137

### F251

### T266



Valeurs maximales admissibles

Dans les sols  $\rightarrow$  VS\_H (usage résidentiel) = 1,75 mg/kg

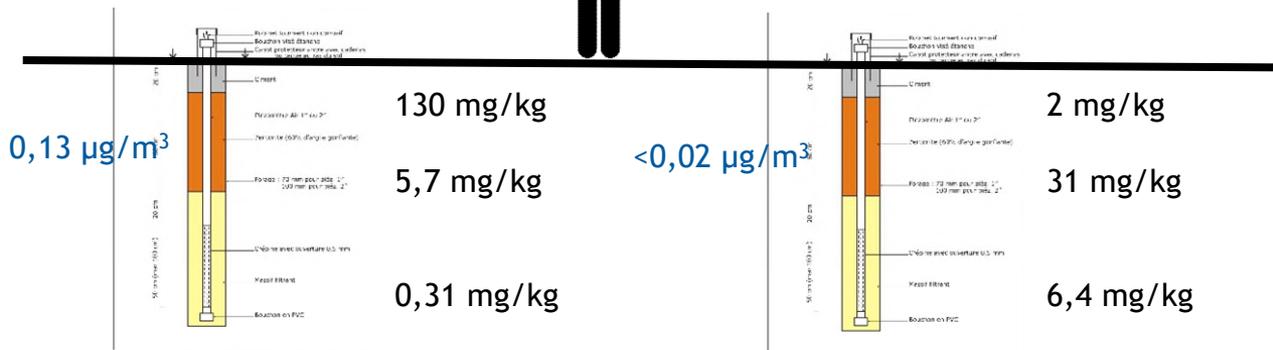
Dans l'air ambiant  $\rightarrow$  VTR\_respiratoire du mercure élémentaire = 0,03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Mesures dans les sols en noir  
 5 mesures d'air du sol en bleu  
 3 mesures d'air ambiant en vert

**P139bis**

**P206**



Valeurs maximales admissibles

Dans les sols → VS\_H (usage résidentiel) = 1,75 mg/kg

Dans l'air ambiant → VTR\_respiratoire du mercure élémentaire = 0,03 µg/m³

**SPAQUE**

PAGE 25

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

### Mesures d'air du sol et d'air ambiant - Interprétation pour les futurs occupants

- ❑ Plus la concentration dans le sol est élevée, plus la concentration dans les gaz du sol est élevée : conditions favorables pour la diffusion dans ce remblai
- ❑ La concentration de mercure dans l'air du sol semble plus influencée par la source sol située au-dessus de la crépine qu'en dessous (rejoint le rapport du BRGM sur le comportement du mercure indiquant « un phénomène de diffusion qui se passe dans l'horizon de surface »)
- ❑ La concentration mesurée dans l'air ambiant à 1,5 m de hauteur (zone respiratoire) est bien plus diluée qu'à la surface ( $1,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  contre  $0,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Cela signifie que sur les 3 mesures d'air ambiant, 2 ont été réalisées à la surface ( $1,01$  et  $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et 1 mesure à 1,5 m ( $0,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Les 2 mesures sont des indications *worst case* de l'exposition des promeneurs.

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

**Conclusion 1 :** Le remblai ne peut pas être laissé en place pour le projet d'aménagement en habitat. Des mesures de suivi de qualité de l'air, des restrictions d'accès doivent être engagées au droit de ces zones et en zone riveraine rapidement, avant les travaux → avertissement de la Commune et mise en place d'un suivi de la qualité de l'air

**Conclusion 2 :** les mesures d'air du sol et d'air ambiant ne vont pas aider à élaborer des Objectifs d'Assainissement (OA)...

**Conclusion 3 :** les OA seront élaborés sur base des connaissances acquises par l'INERIS et le BRGM, confirmées sur un autre site SPAQUE

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Mesures d'air - Comparaison aux Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle - VLEP (pour les travailleurs) - Référence : 2 SEPTEMBRE 2018. – Arrêté royal modifiant le titre 1er relatif aux agents chimiques du livre VI du code du bien-être au travail, en ce qui concerne la liste de valeurs limites d'exposition aux agents chimiques (1)

Composé de l'AR retenu : « Mercure et composés inorganiques bivalents du mercure, y compris l'oxyde de mercure et le chlorure mercurique (mesurés comme mercure) »

VLEP égale à  $0,02 \text{ mg/m}^3$ , soit  $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

### Conclusion :

Toutes les teneurs mesurées sont  $<$  à la VLEP - *et même à 30 % de la VLEP* ( $= 6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), *qui est le critère INRS pour amorcer les mesures de protection individuelle et collective* → aucune mesure de protection EPI n'est à mettre en place sur base de ces mesures.

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Elaboration d'Objectifs d'Assainissement pour le mercure

Qui se cache derrière la VS\_H du mercure dans le GRER v4 ?

Equation :

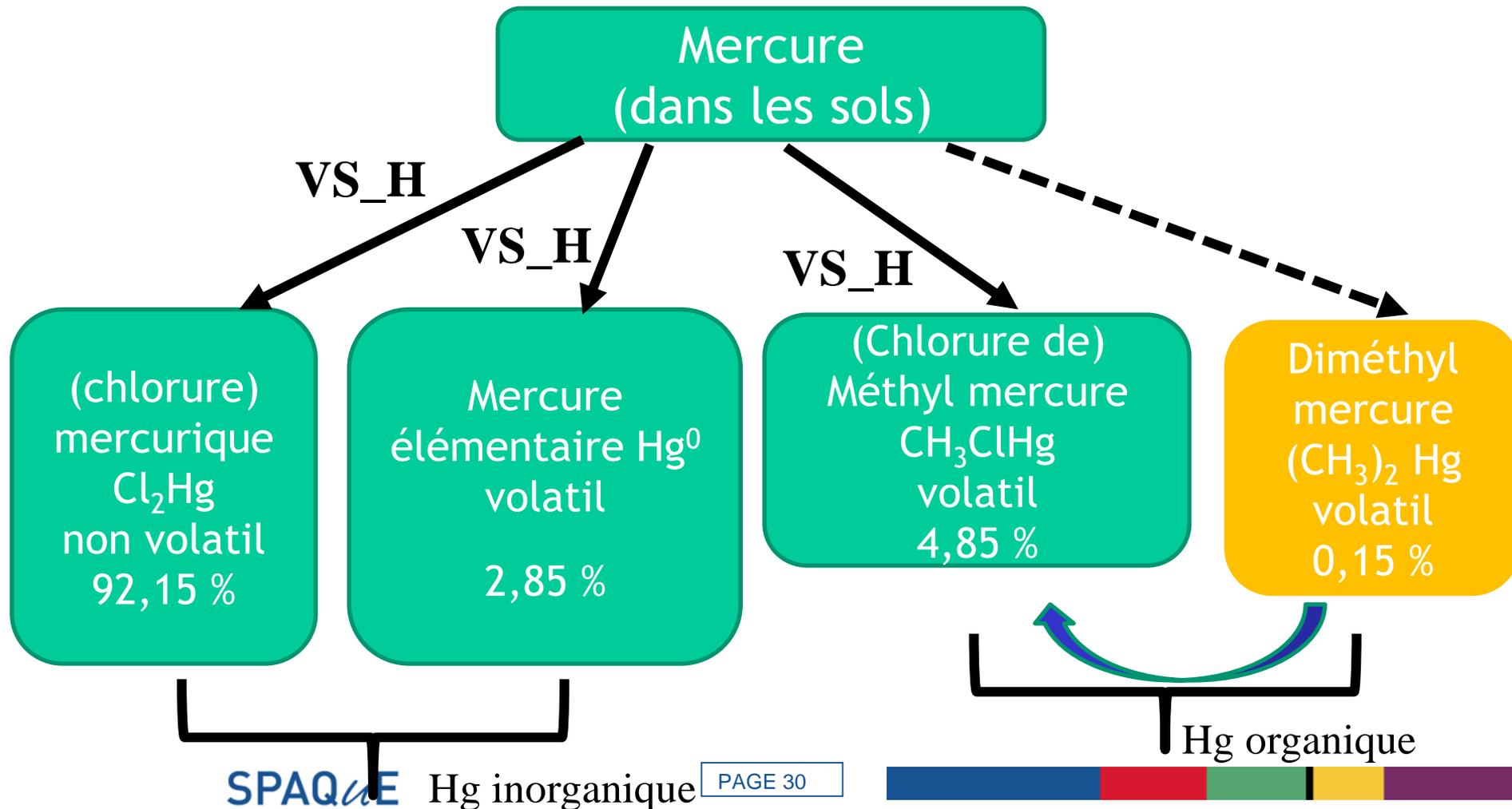
$$\frac{1}{VS_H} = \frac{0,95}{VS_H_{\text{mercure chloride}}} + \frac{0,05}{VS_H_{\text{methyl\_mercure\_chloride}}}$$

Formes représentées dans la VS\_H:

- ✓ Mercure\_chloride → mercure inorganique
- ✓ Methyl\_mercure\_chloride → mercure organique
- ✓ Le mercure élémentaire (forme volatile) n'est pas représenté

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Elaboration d'Objectifs d'Assainissement pour le mercure





## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

### Elaboration d'Objectifs d'Assainissement pour le mercure Paramètres physico-chimiques

SRC-PhysProp S-RISK WAL RISC-HUMAN	Hg élémentaire (3% au lieu de 0 %)	Hg inorganique (92% au lieu de 95 %)	Hg organique (5%)
Formule	Hg <sup>0</sup>	Cl <sub>2</sub> Hg	CH <sub>3</sub> ClHg
N° CAS	7439-97-6	7487-94-7	115-09-3 (22967-92-6)
Pression de Vapeur Vp (Pa)	0,26 0,18 0,18	1439 0 0,009	1,13 1,76 1,76
Solubilité S (mg/L)	0,06 0,0494 0,0567	69000 66000 69000	9330 5500 6000
Constante de Henry H (Pa.m <sup>3</sup> /mol)	873 729 729	0,33 0 3,69.10 <sup>-5</sup>	0,037 0,08 0,08
Log Kow	0,62 / 0,62	PAGE 31 0,22 / -0,30	0,41 / 0,40



## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Elaboration d'Objectifs d'Assainissement pour le mercure  
Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

S-RISK WAL RISC-HUMAN	Hg élémentaire (3% au lieu de 0 %)	Hg inorganique (92% au lieu de 95 %)	Hg organique (5%)
Formule	$\text{Hg}^0$	$\text{Cl}_2\text{Hg}$	$\text{CH}_3\text{ClHg}$
N° CAS	7439-97-6	7487-94-7	115-09-3*
VTR orale à seuil (mg/kg.j)	$5,9 \cdot 10^{-2}$ x	$3 \cdot 10^{-4}$ $3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-4}$
VTR respiratoire à seuil (mg/m <sup>3</sup> )	$3 \cdot 10^{-5}$ $3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$ x

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

### Calcul de la VS\_H du mercure

Les 3 substances déjà encodées dans S-RISK WAL sont représentatives des 3 formes de mercure à modéliser → elles seront utilisées *sans modification* pour le calcul de la VS\_H du mercure :

- mercury (mercuric chloride) [92%]
- mercury (methyl mercury) [5%]
- mercury (elemental) [3%]

#### Quelques points d'amélioration:

Pour le methyl mercure dans S-RISK → origine de la VTR respiratoire fixée par l'AWAC, correction de la formule de calcul de la VS\_H

#### Résultat :

Nouvelle VS\_H usage III = 2,83 mg/kg (usage III) [1,75 dans GRERv4]

Nouvelle VS\_H usage IV = 38,1 mg/kg (usage III) [37,4 dans GRERv4]

→ influence mineure en raison de la ressemblance entre le mercure élémentaire et le methyl mercure d'un point de vue toxicité, volatilité, % dans la VS\_H

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

Calcul VS_H mercure selon la répartition 92 % mercure inorganique (chloride) - 5 % mercure méthyl - 3 % mercure élémentaire (Hg0)					
VS_H surface - S-RISK WAL	Usage III	Usage IV			
	résidentiel avec jardin potager	REC day out	REC day in	Light Industry	résidentiel avec jardin sans potager
<b>VSH</b>	<b>2,83</b>	<b>38,11</b>	<b>234,34</b>	<b>216,10</b>	<b>6,70</b>
VS_H prof - S-RISK WAL (voies d'exposition par ingestion de légumes et de terre et de poussières non retenues)					
	résidentiel avec jardin potager	REC day out	REC day in	Light Industry	résidentiel avec jardin sans potager
<b>VSH</b>	<b>24,20</b>	<b>10723,41</b>	<b>274,19</b>	<b>279,45</b>	<b>24,20</b>
VS_H prof - S-RISK WAL (voies d'exposition par ingestion de légumes et de terre et de poussières non retenues) + bâtiment de plain pied					
	résidentiel avec jardin potager	REC day out	REC day in	Light Industry	résidentiel avec jardin sans potager
<b>VSH</b>	<b>476,68</b>	<b>10723,41</b>	<b>8850,70</b>	<b>4993,75</b>	<b>#VALEUR!</b>
VS_H prof- S-RISK WAL -(voies d'exposition par ingestion de légumes et de terre et de poussières non retenues) + remblai standard (7,1 % MO)					
	résidentiel avec jardin potager	REC day out	REC day in	Light Industry	résidentiel avec jardin sans potager
<b>VSH</b>	<b>48,67</b>	<b>24720,58</b>	<b>551,14</b>	<b>560,93</b>	<b>#VALEUR!</b>
VS_H prof - S-RISK WAL (voies d'exposition par ingestion de légumes et de terre et de poussières non retenues)+ bâtiment de plain pied + remblai standard (7,1 % MO)					
	résidentiel avec jardin potager	REC day out	REC day in	Light Industry	résidentiel avec jardin sans potager
<b>VSH</b>	<b>746,15</b>	<b>24720,58</b>	<b>20648,36</b>	<b>11279,87</b>	<b>#REF!</b>

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

### Conclusion

La présence de teneurs élevées de Hg dans les remblais nous a permis d'observer :

- La présence avérée de Hg volatil grâce aux mesures de gaz du sol et d'air ambiant ;
- La similitude des VS\_H prenant en compte le Hg volatil (3%) avec les VS\_H du GRERv4 ;
- L'appui de ces mesures pour le projet d'aménagement en déconseillant au Bourgmestre l'usage habitat au droit de ce terrain ;
- Les difficultés de connaître avec facilité les différentes formes du mercure dans le sol (spéciation VITO).

*C'est une 1<sup>ère</sup> expérience qui n'a pas de valeur à être gravée dans le marbre → Retour d'expérience à partager...*

## 2. Projet d'assainissement d'un terrain avec un remblai fortement pollué en mercure volatil : apports et limites de la modélisation

### Références bibliographiques

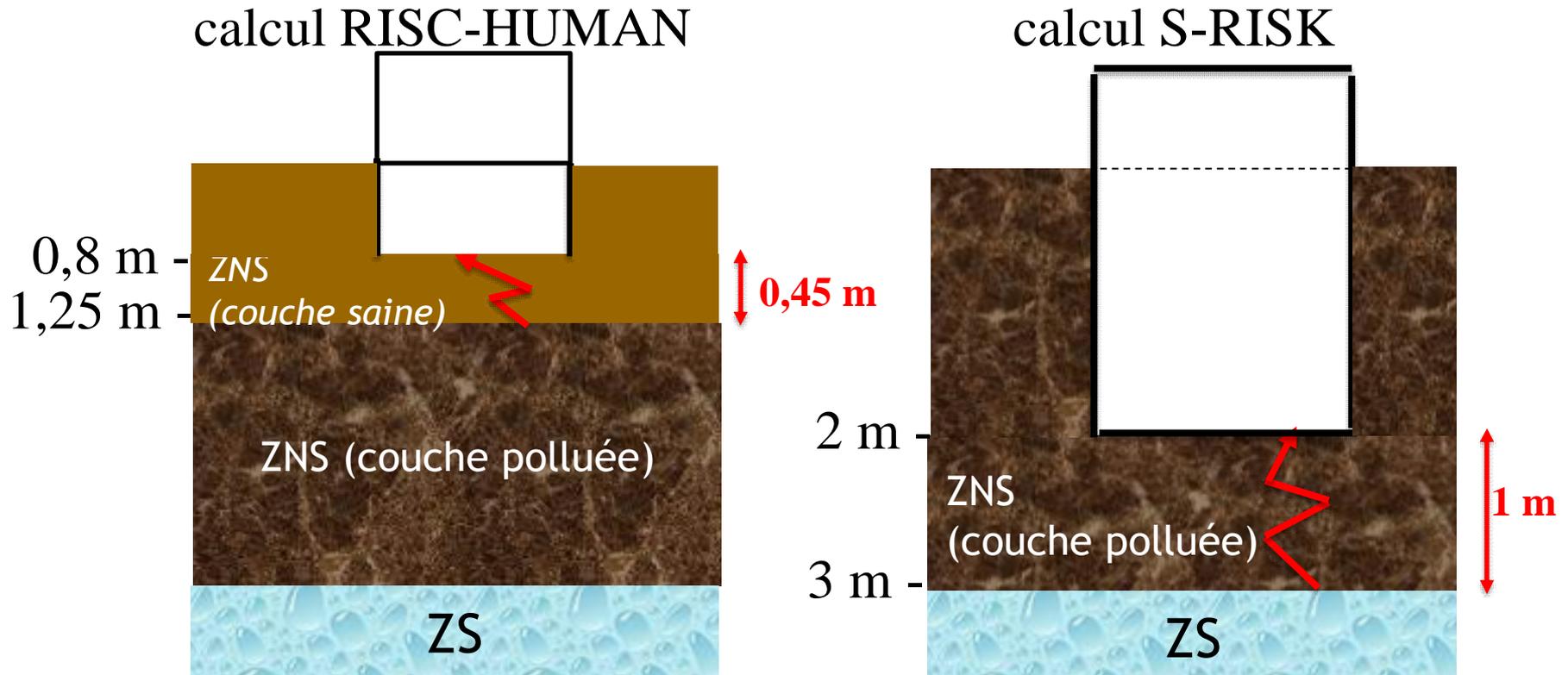
Leveque S. et Bonnard R. (1998). Définition des valeurs de constat d'impact pour le mercure - INERIS

Thomassin J.F. *et al.* (2003). Le mercure et ses composés. Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments. BRGM/RP-51890-FR

Site Sclaigneaux....report VITO (June 2008)

### 3. Projet d'assainissement avec modélisation d'une couche de terres « saines » d'épaisseur variable

Modélisation de la volatilisation dans le sol : différences entre RISC-HUMAN et S-RISK - paramètres par défaut (VS\_H)



### 3. Projet d'assainissement avec modélisation d'une couche de terres « saines » d'épaisseur variable

Comparaison des flux modélisés dans S-RISK WAL (bâtiment avec sous-sol, benzène\_sol = 1 mg/kg dans horizon pollué et 0 mg/kg dans horizon propre) - Application II - Calcul retenu = horizon worst case

	S-RISK WAL	Horizon pollué 0-3 m	Horizon pollué 1-3 m	Horizon pollué 2,1-3 m
	C_air_sol (mg/m <sup>3</sup> )	123,9	123,9	123,9
	C_air_RdC (µg/m <sup>3</sup> )	19,3	19,3	18,1
	<i>Flux total de contaminant vers le RdC (mg/m<sup>2</sup>.j)</i>	2,46	4,61	2,17
SOL	Flux de cont. vers le RdC à travers la dalle (mg/m <sup>2</sup> .j)	0	0	0,1
	Flux direct de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	2,15	2,15	0
	Flux indirect de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0	<b>2,15</b>	<b>1,72</b>
EAU SOUTERRAINE	Flux de cont. vers le RdC à travers la dalle (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,04	0,04	0,04
	Flux direct de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0	0	0
	Flux indirect de cont. vers le RdC à travers les murs du sous-sol (mg/m <sup>2</sup> .j)	0,27	0,27	0,31

### 3. Projet d'assainissement avec modélisation d'une couche de terres « saines » d'épaisseur variable

Comparaison des flux modélisés dans S-RISK WAL (bâtiment avec sous-sol, benzène\_sol = 1 mg/kg dans horizon pollué et 0 mg/kg dans horizon propre) -

#### Application II

S-RISK WAL	Horizon pollué 0-3 m	Horizon pollué 1-3 m	Horizon pollué 2,1-3 m
C_air_sol (mg/m <sup>3</sup> )	123,9	123,9	123,9
C_air_RdC (µg/m <sup>3</sup> )	19,3	19,3	18,1
Indice de risque (IR) le plus élevé	13,5	10,8	10,1
Excès de risque individuel (ERI) le plus élevé	1,46.10 <sup>-4</sup>	1,05.10 <sup>-4</sup>	9,79.10 <sup>-5</sup>

En application II, on observe :

- Une diminution de l'IR et de l'ERI avec l'action « couche de terres saines », s'expliquant plus par l'annulation des voies d'exposition directe (ingestion de sol, de légumes) que par la réduction de la volatilisation
- Un comportement de S-RISK à apprivoiser (flux directs et indirects)

Comment élaborer des OA sur cette base ?

## 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

Valeurs limites	EAUX SOUTERRAINES	
	Annexe 1 du "Décret sols"	Propositions GRER (via S-Risk WAL)
	VS <sub>nappe</sub>	VS <sub>nappe[volatilisation]</sub> <sup>(1)</sup>
<b>Hydrocarbures pétroliers</b>		
<b>Fractions EC aliphatiques</b>		
EC <sub>5-6 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	8464
EC <sub>&gt;6-8 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>5578</b>
EC <sub>&gt;8-10 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	189,7
EC <sub>&gt;10-12 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>126,7</b>
EC <sub>&gt;12-16 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>29,12</b>
EC <sub>&gt;16-21 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>21,76</b>
EC <sub>&gt;21-35 alip</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>0,2175</b>
<b>Fractions EC aromatiques</b>		
EC <sub>&gt;6-7 arom (benzène)</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	255,4
EC <sub>&gt;7-8 arom (toluène)</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	19770
EC <sub>&gt;8-10 arom</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	6294
EC <sub>&gt;10-12 arom</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	21360
EC <sub>&gt;12-16 arom</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>55060</b>
EC <sub>&gt;16-21 arom</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>105900</b>
EC <sub>&gt;21-35 arom</sub>	<i>non précisé</i> <sup>(3)</sup>	<b>916000</b>

S-RISK produit des VS<sub>nappe\_volatilisation</sub> pour les fractions carbonées C16-C21 et C21-C35, pourtant non volatiles et n'ayant pas de VTR respiratoire --> ?

VS<sub>nappe\_volatilisation</sub> des fractions aliphatiques C16-C21 et C21-C35 très faibles → menace grave ??

Quelles en sont les raisons ?

## 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

### Rappels concernant le TPHCWG (1997-1999)

- Seules connaissances étayées à ce jour sur les huiles minérales mais qui datent (1997 à 1999!)
- 180 composés étudiés
- Découpage en plusieurs fractions carbonées exprimées en Equivalent Carbone (EC), « normalisées » / T° ébullition → cf. slide suivant
- Source des données physico-chimiques : Handbook Mackay (1993)
- Détermination des paramètres physico-chimiques (M, Vp, S, H, log Kow) sur base d'une corrélation avec la T° d'ébullition (Vp = f(EC), S = f (EC),...)
- Calcul de la constante de Henry  $H = Vp \times M / S$
- Sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence sur base d'études toxicologiques sur des rats. Pas d'effets sans seuil étudiés !! (→ BTEX et HAP)

Les fractions C16-C21 et C21-C35 représentent une part importante de certains produits comme :

- le diesel composé de 40 % de C16-C35 aliphatiques, 8 % de C16-C21 aromatiques, < 1 % de C21-C35 aromatiques
- le Heavy Fuel Oil composé de 60 % de C16-C35 aliphatiques, 5 % de C16-C21 aromatiques, 21 % de C21-C35 aromatiques

## 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

### Rappels concernant le TPHCWG (1997-1999)

Répartition des BTEXS et des 16 HAP dans les fractions aromatiques

EC 5-7	benzène (6-6,5)
EC > 7-8	toluène (7-7,58)
EC > 8-10	éthylbenzène (8-8,5), o-xylène (8-8,81), m-xylène (8-8,6), p-xylène (8-8,61), styrène (8-8,83)
EC > 10-12	naphtalène (10-11,69)
EC > 12-16	acénaphène (12-15,5), acénaphylène (12-15,06)
EC > 16-21	fluorène (13-16,55), anthracène (14-19,43), phénanthrène (14-19,36), pyrène (16-20,8)
EC > 21-35	fluoranthène (16-21,85), benzo(a)anthracène (18-26,37), benzo(b)fluoranthène (20-30,14), benzo(k)fluoranthène (20-30,14), indéno(1,2,3-cd)pyrène (22-35,01), chrysène (18-27,41), benzo(a)pyrène (20-31,34), benzo(ghi)pérylène (22-34,01), dibenzo(ah)anthracène (22-33,92)

Exemple → Benzène (6-6,5) :

Le 1er nombre = nombre exact de carbones dans la molécule

Le 2ème nombre = nombre "équivalent carbone", technique utilisée lors de l'analyse par CG (point d'ébullition normalisé/alkanes)

## 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

### Rappels concernant le TPHCWG (1997-1999)

Source :  
TPHCWG  
Volume 5-  
Human Health  
Risk-Based  
evaluation of  
petroleum release  
sites (1999)

**Table 1.** Fate & Transport Properties of TPHCWG Petroleum Fractions

Equivalent Carbon Number <sup>a</sup>	Solubility (mg/L)	Vapor Pressure (atm)	log K <sub>oc</sub> (c/c)	Boiling Point (°C)	Henry's Law Constant <sup>b</sup> (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Molecular Weight (g/mole)	Diffusivity in air (cm <sup>2</sup> /s)	Diffusivity in water (cm <sup>2</sup> /s)
<b>Aliphatic Fractions</b>								
>5-6	3.6E+01	3.5E-01	2.9E+00	5.1E+01	3.3E+01	8.1E+01	1.0E-01	1.0E-05
>6-8	5.4E+00	6.3E-02	3.6E+00	9.6E+01	5.0E+01	1.0E+02	1.0E-01	1.0E-05
>8-10	4.3E-01	6.3E-03	4.5E+00	1.5E+02	8.0E+01	1.3E+02	1.0E-01	1.0E-05
>10-12	3.4E-02	6.3E-04	5.4E+00	2.0E+02	1.2E+02	1.6E+02	1.0E-01	1.0E-05
>12-16	7.6E-04	4.8E-05	6.7E+00	2.6E+02	5.2E+02	2.0E+02	1.0E-01	1.0E-05
>16-21	2.5E-06	1.1E-06	8.8E+00	3.2E+02	4.9E+03	2.7E+02	1.0E-01	1.0E-05
<b>Aromatic Fractions</b>								
>5-7 (benzene)	1.8E+03	1.3E-01	1.9E+00	8.0E+01	2.3E-01	7.8E+01	1.0E-01	1.0E-05
>7-8 (toluene)	5.2E+02	3.8E-02	2.4E+00	1.1E+02	2.7E-01	9.2E+01	1.0E-01	1.0E-05
>8-10	6.5E+01	6.3E-03	3.2E+00	1.5E+02	4.8E-01	1.2E+02	1.0E-01	1.0E-05
>10-12	2.5E+01	6.3E-04	3.4E+00	2.0E+02	1.4E-01	1.3E+02	1.0E-01	1.0E-05
>12-16	5.8E+00	4.8E-05	3.7E+00	2.6E+02	5.3E-02	1.5E+02	1.0E-01	1.0E-05
>16-21	6.5E-01	1.1E-06	4.2E+00	3.2E+02	1.3E-02	1.9E+02	1.0E-01	1.0E-05
>21-35	6.6E-03	4.4E-10	5.1E+00	3.4E+02	6.7E-04	2.4E+02	1.0E-01	1.0E-05

**Source:**

TPHCWG Volume 3, Table 8 and Section 4.3.5.

**Notes:**

<sup>a</sup>Equivalent Carbon Number (EC)—carbon number correlated with the retention time of constituents in a boiling point gas chromatography (GC) column, normalized to the *n*-alkanes.

<sup>b</sup>Calculated Henry's law constant based on vapor pressure, solubility, and molecular weight relationship.

4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention  
 Paramètres physico-chimiques des fractions C16-C21 et C21-C35 dans S-RISK WAL (source principale : TPHCWGS - 1999 sauf \*)

	EC16-EC21 aliphatique	EC21-EC35 <i>Aliphatique*</i>	EC16-EC21 aromatique	EC21-EC35 aromatique
Masse molaire (g/mol)	270	406,4	190	240
Solubilité (mg/L)	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,51 \cdot 10^{-11}$	0,65	$6,60 \cdot 10^{-3}$
Pression de vapeur (Pa)	0,11	$3,48 \cdot 10^{-5}$	0,11	$4,46 \cdot 10^{-5}$
Constante de Henry (Pa.m <sup>3</sup> /mol)	$1,2 \cdot 10^7$	$9,3 \cdot 10^8$	31,6	1,6
Log Kow	3,97	12,4	3,66	3,74
Log Koc (L/kg)	8,80	13,03	4,2	5,1

#### 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention Valeurs Toxicologiques de Référence C16-C21 et C21-C35 dans S-RISK WAL (source principale : TPHCWGS - 1999 sauf \*)

Fractions aliphatiques > C16  
Voie orale : BIBRA study (Smith, 1996)  
Études sur des rats  
Voie respiratoire : inapproprié car non volatil, inhalation = voie non pertinente

Fractions aromatiques > C16  
Pas de RfD  
→ Sélection de la RfD du pyrène  
Voie respiratoire : inapproprié car non volatil, inhalation = voie non pertinente

	EC16-EC21 aliphatique	EC21-EC35 <i>Aliphatique*</i>	EC16-EC21 aromatique	EC21-EC35 aromatique
VTR orale (mg/kg.j)	2	2	0,03	0,03
VTR respiratoire (mg/m <sup>3</sup> )	NA → 7	NA → 7	NA → 0,105	NA → 0,105

VTR fixées dans S-RISK, par dérivation voie à voie

Source : TPHCWG Volume 4 – Development of fraction specific reference doses (RfDs) and reference concentrations (RfC) for TPH (1997)

## 4. Comparaison aux valeurs des VS\_nappe\_volatilisation du GRER v4 - Limites de S-RISK et points d'attention

### Conclusions

**Que s'est-il passé pour EC16-EC21 et EC21-EC35 aliphatiques ?**

- Constantes de Henry calculées ( $H = V_p \times M/S$ ) très élevées car division d'un très petit nombre (composé non volatil) par un nombre encore plus petit (composé non soluble) → S-RISK utilise H pour le calcul de la volatilisation et comprend ces composés comme très volatils
- VTR par voie respiratoire « obligatoires » dans S-RISK → S-RISK sait toujours calculer des VS\_nappe\_vol → VS\_nappe\_vol très basses
- pour rappel, pas de VS\_nappe\_vol dans GRERv1-v2 car non pertinentes

### Conclusions

Bien que le GRERv4 nous incite à conclure à une menace grave, ne pas oublier d'interpréter en gardant le bon sens. Ici, SPAQuE justifie de ne pas tenir compte de ces VS\_nappe\_vol, sur base des éléments précités.

Proposition d'amélioration dans S-RISK : enlèvement des VS\_nappe volatilisation aberrantes / interprétation valeur de H / intérêt de la VTR respiratoire très élevée (pour rendre le résultat du calcul réaliste)

Merci pour votre  
attention

