



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

---

# Echantillonnage de la phase gazeuse du sol au moyen de piézairs : aspects théoriques et retour d'expérience

Marie JAILLER - Service Evaluation des Risques

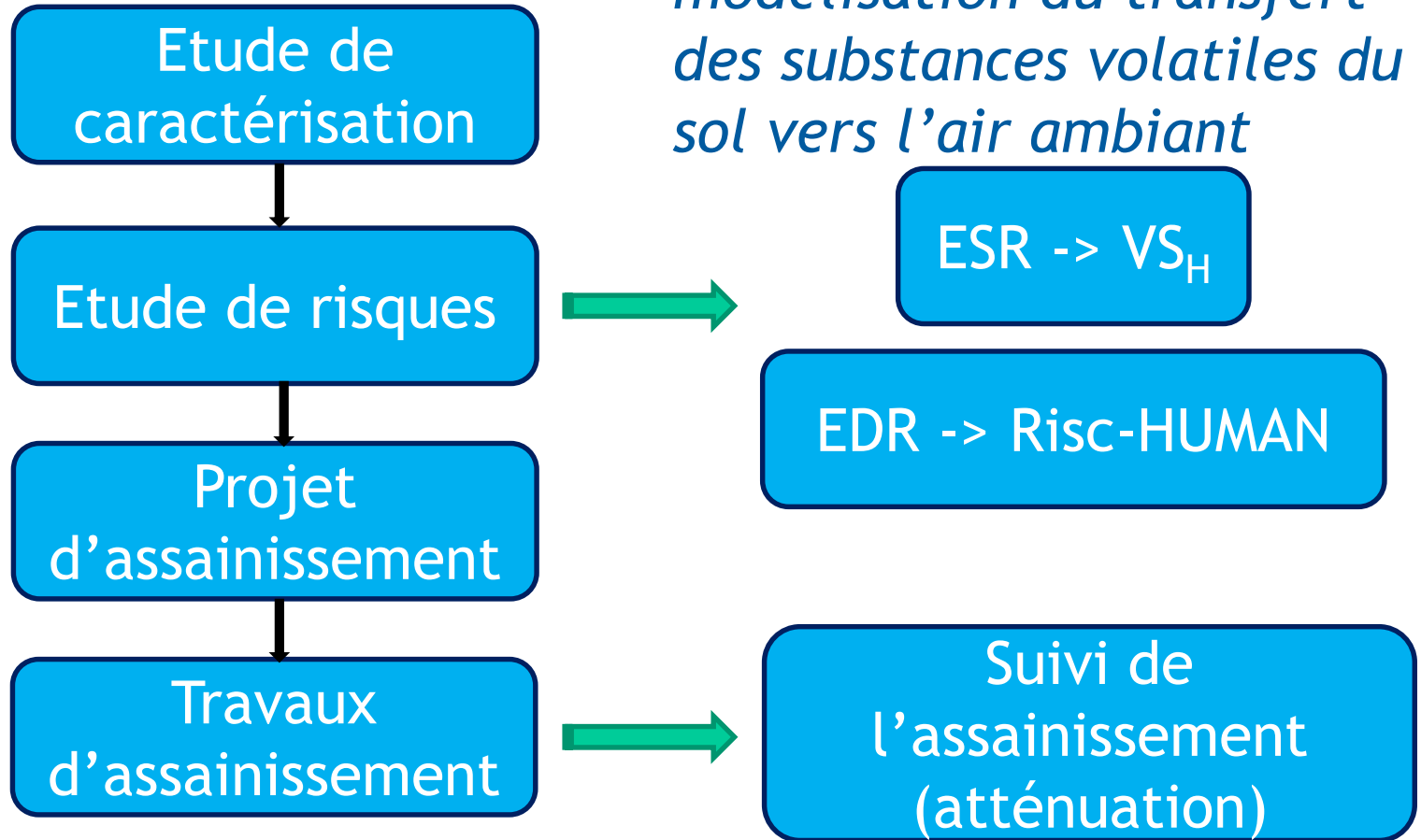
Mercredi 27 mai 2015

# Plan de la présentation

1. Pourquoi réaliser des mesures de gaz du sol ?
2. Origine du principe de la mesure
3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair
4. Méthodes d'analyses des gaz du sol
5. Interprétation des résultats d'analyses de gaz du sol - Bonnes pratiques
6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemples
7. Informations du guide FLUXOBAT (2013) - Partie « Gaz du sol »
8. Documents de référence



# 1. Pourquoi réaliser des mesures de gaz du sol ?



# 1. Pourquoi réaliser des mesures de gaz du sol ?

Calcul de risque -  $VS_H$  → Assainissement (coût/suivi atténuation)

Calcul de dose d'inhalation

Concentration dans l'air intérieur =  $0,1 \times C_{vv}$

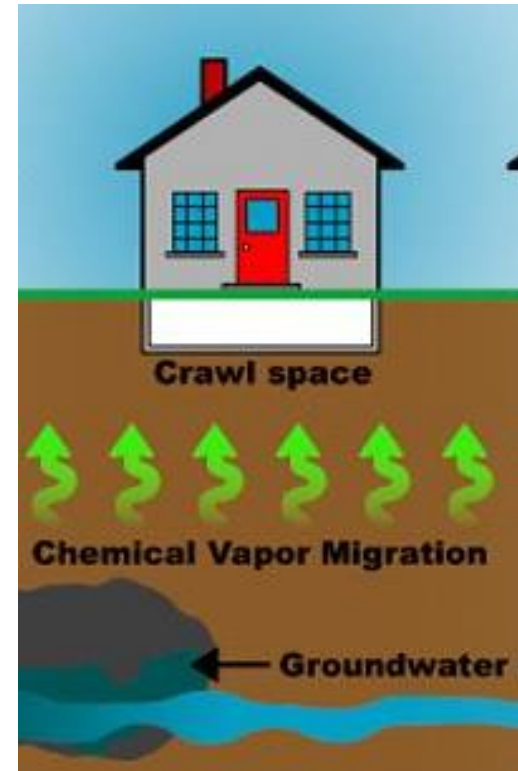
Concentration dans le vide ventilé

Concentration dans l'air du sol **modélisée** ?



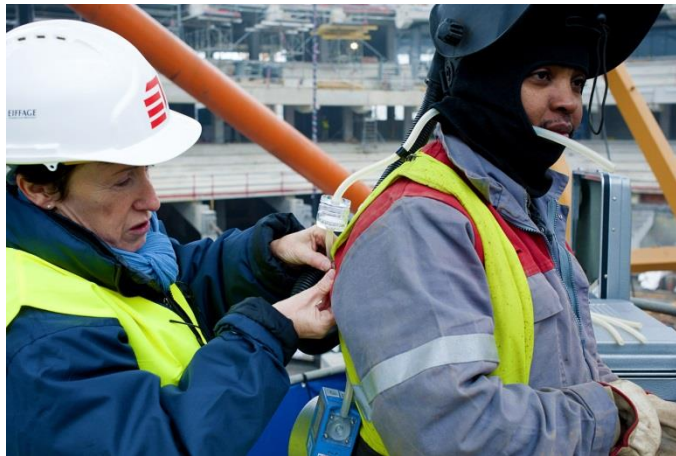
Concentration dans le sol **mesurée**

mesurée



diffusion et convection

## 2. Origine du principe de la mesure



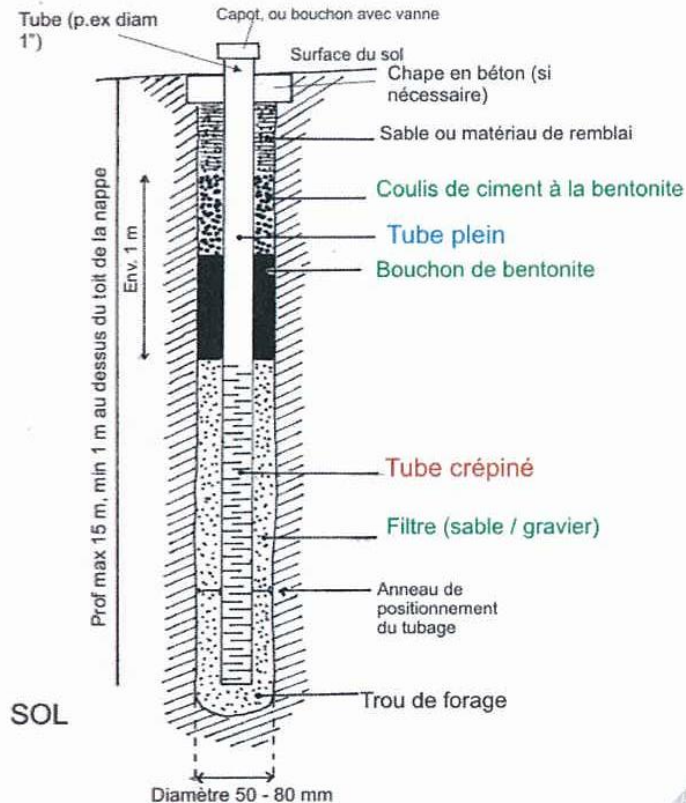
mesure d'exposition professionnelle sur les opérateurs

mesure d'atmosphère des lieux de travail

Matériel de prélèvement



### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair



a) Schéma de principe : équipement en piézair d'un forage (d'après VDI 3865-2)

Fabrication du piézair

-> protocole dans GRER, annexe B10

-> norme ISO 10381-7

Il ressemble à un piézomètre...mais ce n'est pas un piézomètre!

# 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair

Piézair = ouvrage permanent

*Avantages :*

*Répéter les campagnes*

*Observer en continu*

Étanchéité / à la surface (sol nu) : dalle de béton (1 m<sup>2</sup>)

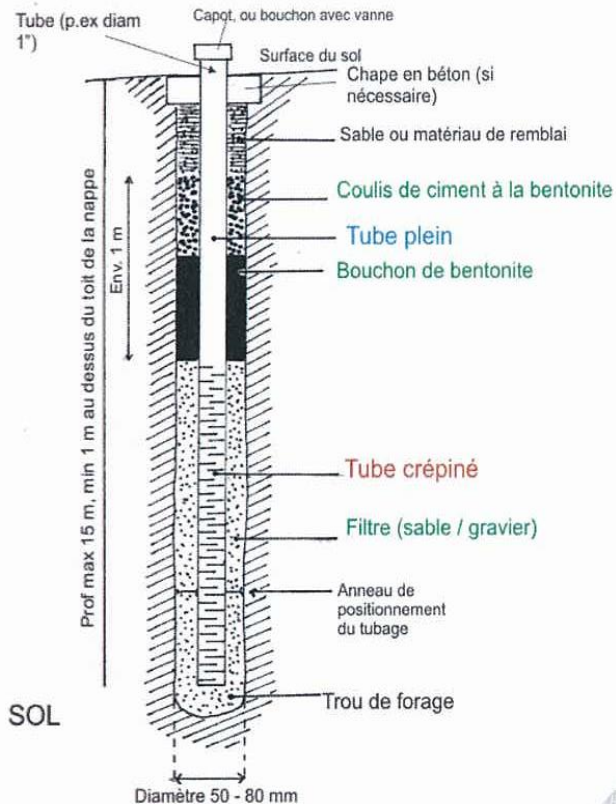
Hauteur tube plein : 0,5 -1 m  
(pour éviter l'infiltration d'air atmosphérique)

Hauteur crépiné : 0,5 -1 m

Hauteur au-dessus de la nappe = 1 m

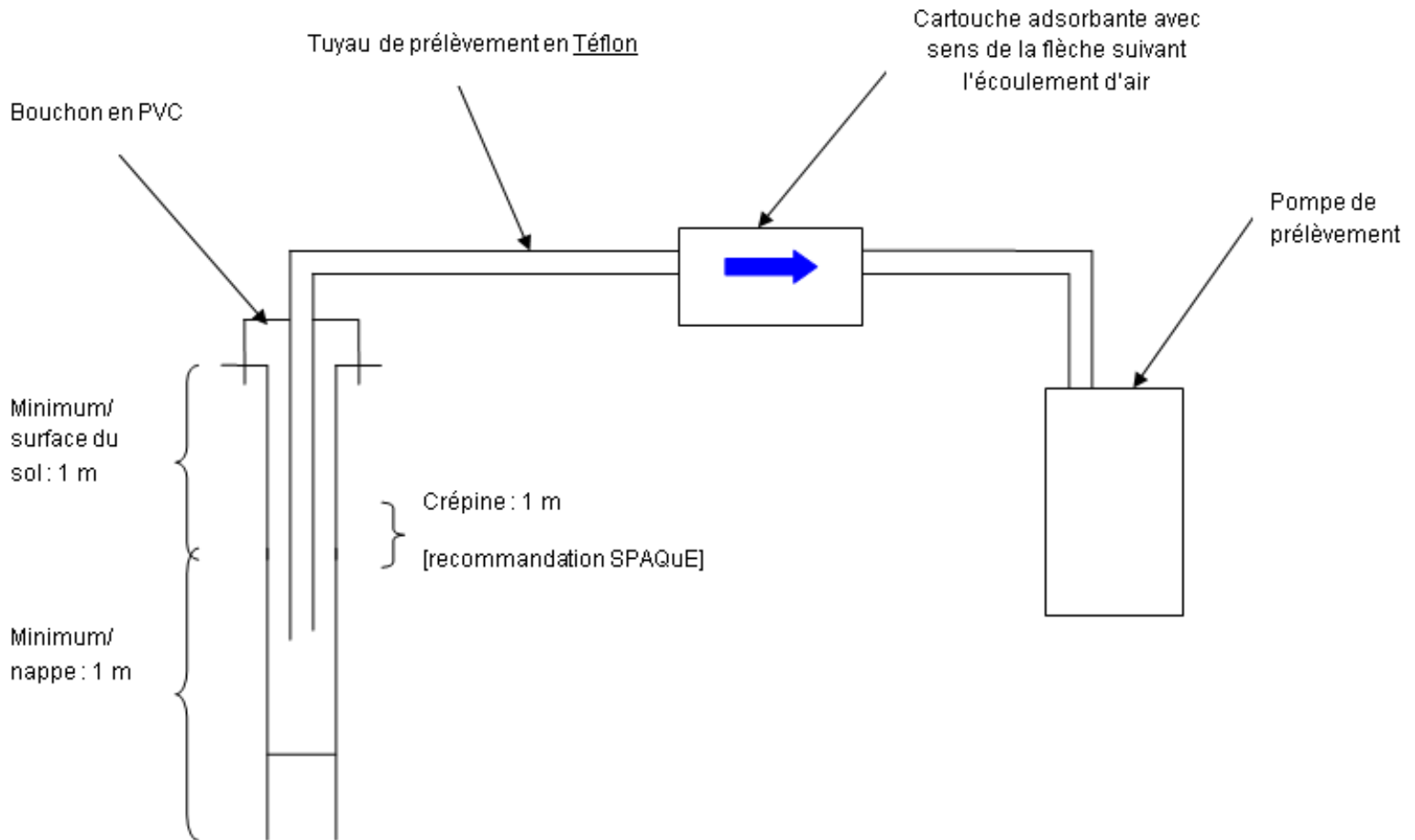
Étanchéité : bentonite-ciment -> OK

billes d'argile -> NOK



a) Schéma de principe : équipement en piézair d'un forage (d'après VDI 3865-2)

# 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair





### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Supports



#### Prélèvements actifs (par pompage)

1. Tubes pour mesure intégrative
2. Supports de type Canister
3. Sacs de type Tedlar®



#### Prélèvements passifs

1. Cartouches de type GORE Sorber™, PDMS
2. Cartouches de type Radiello®



### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Supports pour mesure intégrative



Composés à piéger	Support de prélèvement	Normes
BTEX Huiles minérales	Charbon actif 100/50 Carbotrap	ISO 9487 - NIOSH 1501
HAP volatils	Résine XAD-2	NIOSH 5515
Mercure volatil	Hopcalite Anasorb C300 Barboteur $\text{Kr}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HNO}_3$	NIOSH 6009 ISO 17733
Cyanures libres	Filtre imprégné de NaOH Barboteur KOH	Fiche INRS n° 27 NIOSH 7904
Composés chlorés (sauf CV)	Charbon actif 100/50	ISO 9486 - NIOSH 1003
Chlorure de vinyle	Charbon actif 800/200	ISO 8762
Phénols	Gel de silice 800/100 Résine XAD-7	Fiche INRS n° 37

### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Norme ISO 10381-7

- Eviter les périodes froides :  $T^{\circ}\text{sol} \searrow \text{Conc} \searrow$
- $T^{\circ}\text{air}_{\text{ambient}} > T^{\circ}\text{sol}$  pour éviter condensation
- Prof. Échant > 1 m de la surface du sol
- Prof. Échant. > 1 m min de la nappe (mobilité des polluants réduite dans un sol saturé en eau)
- Vérifier étanchéité avant prélèvement
- Purger le système avant prélèvement : volume de purge = 5 fois le volume mort
- Volume de prélèvement < 20 L
- Débit < 2 L/min (0,2 à 1 L/min si possible)
- Nettoyage des éléments de la ligne de prélèvement
- Transporter au froid (glacière) et à l'abri de la lumière (alu)
- Prélèvement -> arrivée labo = 24 h max
- Arrivée labo -> analyse = 24 max

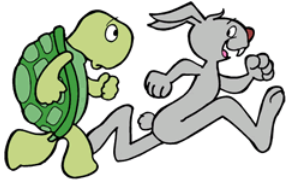
### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Avant de se lancer...

Stratégie d'échantillonnage pour choisir le nombre de points de prélèvement (cf. GRER-Annexe B10) -> représentativité + plusieurs campagnes (2 à 4 fois/an selon le GRER-Annexe B10)



Stratégie de prélèvement = compromis entre :

- un débit choisi correct (pas trop faible, pas trop élevé) - voir consignes des fiches techniques du support, perméabilité du sol
- un temps de prélèvement raisonnable (pas trop court, pas trop long)
- une méthode d'analyse permettant d'atteindre une limite de quantification au moins inférieure à la VTR\_inhalation (cf. GRER-Annexe B5)



### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Remplir la fiche de prélèvement



- Identifier et localiser les piézairs
- Identifier la pompe et le support (étiqueter)
- Prendre une photo
- Noter les conditions météo. :  $T^{\circ}$ , HR,  $P_{atm}$ , pluie, vent
- Suivre le protocole (purge puis prélèvement)
- Purge : 1 à 5 fois le volume mort
- Noter heure de début et heure de fin -> **durée\_prél**
- Calibrer le débit des pompes avant et mesurer le débit après (moyenne de 3 mesures) -> **débit moyen**

Débit moyen (L/min) = Débit\_initial + Débit\_final / 2

Volume d'air prélevé (L) = Débit moyen (L/min) x Durée\_prél (min)

Concentration mesurée = concentration ( $\mu\text{g}/\text{tube}$ ) / Volume\_prél (L)

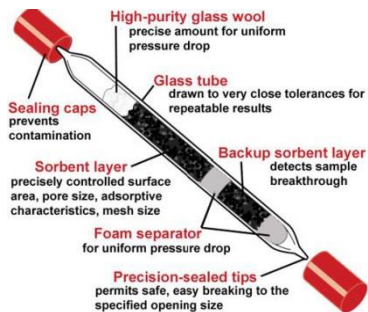
Comparaison de la Concentration mesurée ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à VTR\_inhalation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

SPAQUE

### 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - Contrôle qualité



- Prélèvement impossible (pompe qui s'arrête) : proximité de la nappe, débit trop élevé ( $\Delta P$  ++)
- Sens du tube à respecter
- Débit calibré avant prélèvement stable
- Débit mesuré après prélèvement < Débit initial OK mais jamais écart > 5 % (NBN EN 1232)
- Analyse des 2 plages : plage d'analyse et plage de contrôle. Résultat invalidé si écart > 10 % (ISO 16200-1)
- Volume de perçage (ou claquage) : dépend de la substance, de la température et de l'humidité
- Blancs de contrôle : témoins de terrain et témoins de laboratoire (lots)



# 3. Méthodes de prélèvement des gaz du sol dans un piézair - La fiche de prélèvement



FICHE DE PRELEVEMENT DE GAZ DU SOL												
Lieu :						Date :						
Remarques :						Intervenants :						
						Météorologie :						
						Température air :						
						Température sol :						
						Pression atmosphérique :						
						Humidité relative :						
						Vitesse & direction du vent :						
Point de prélèvement	Hauteur de la crépine (m)	Type de support (charbon actif, XAD2,...)	N° support	Substances analysées	N° identification pompe	Débit avant (L/min)	Heure début prélèvement	Heure fin prélèvement	Débit après (L/min)	Débit moyen (L/min)	Durée du prélèvement (min)	Volume d'air prélevé (L)



# 4. Méthodes d'analyses des gaz du sol

## En temps différé

Analyse en laboratoire

## En instantané

- ✓ Analyse non spécifique par PID
- ✓ Analyse non spécifique par FID portable
- ✓ Analyse non spécifique par spectrométrie IR
- ✓ Analyse spécifique par tubes colorimétriques (type DRAEGER)
- ✓ Analyse spécifique par chromatographe de terrain



## 5. Interprétation des résultats d'analyses de gaz du sol - Bonnes pratiques

En plusieurs étapes...

1. Si  $\text{Conc\_gaz\_sol} < \text{VTR\_inhalation}$  -> absence de pollution préjudiciable pour la santé humaine
2. Si  $\text{Conc\_gaz\_sol} < 10 \times \text{VTR\_inhalation}$  -> absence de pollution préjudiciable pour la santé humaine (cf. calcul Risc-HUMAN)
3. Si  $\text{Conc\_gaz\_sol} > 10 \times \text{VTR\_inhalation}$  -> encodage de la concentration dans le modèle Risc-HUMAN (attention seul VOLASOIL prend en compte le dégazage ne provenant que des gaz du sol!)

**C'est un outil d'aide à la décision**

VTR\_inhalation : valeurs fixées dans GRER, annexe B5

SPAQUE

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Chimeuse

### Contexte - Objectif de la campagne

Activités historiques : cokeries (1873-1950) et industries chimiques (1930-1961)

Projet d'aménagement (zone carbonyl) : usage V

Forte contamination des sols et des eaux souterraines en benzène et naphthalène + présence de produit en phase libre (goudron et « carbonyl»)

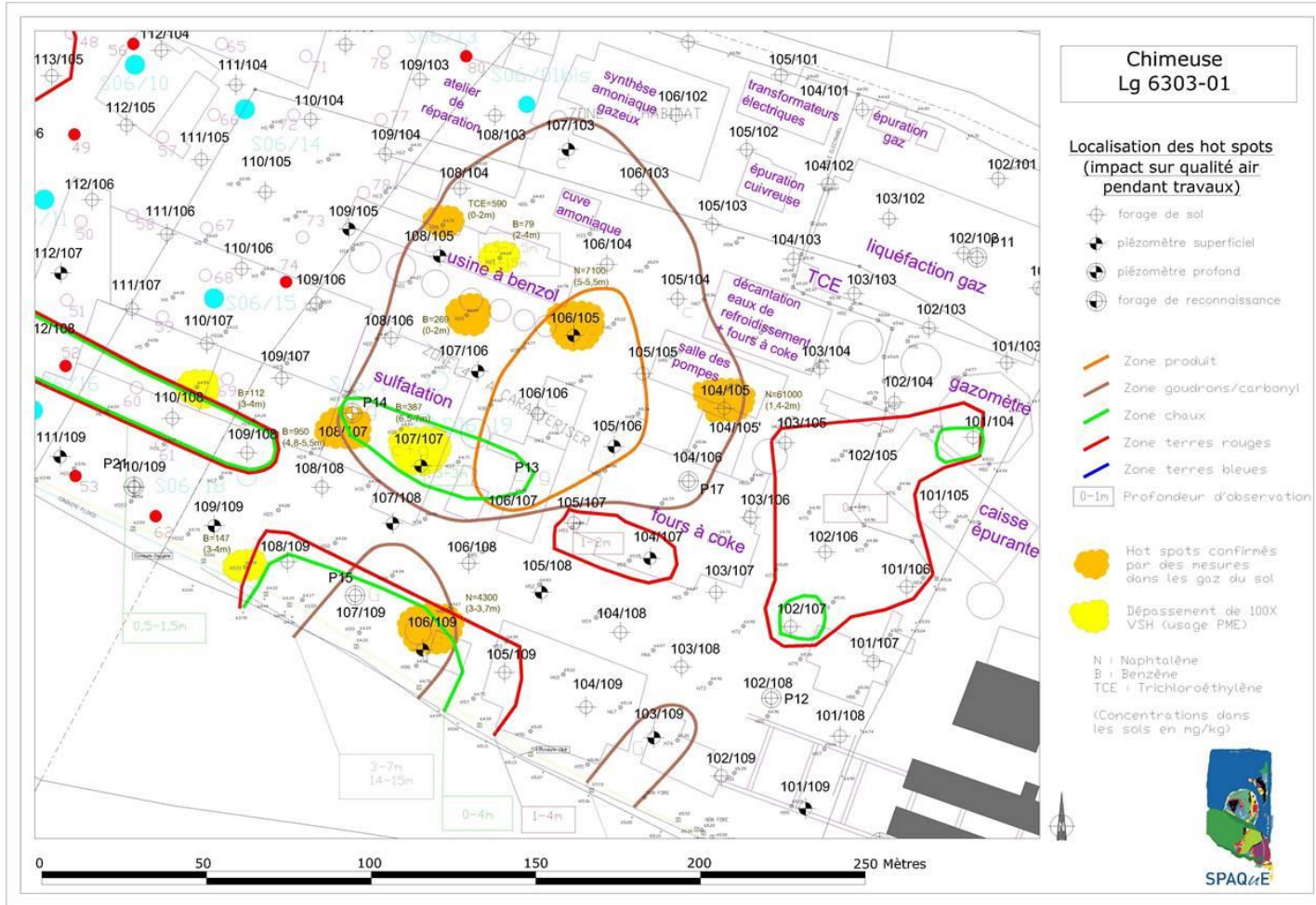
Etude de risques -> aucun nouvel usage compatible -> estimation du dégazage réel de ces composés pour limiter la zone non constructible et pour le suivi de l'atténuation naturelle

Nombre de campagnes : 1 (août 2008)

Nombre de piézairs : 22

Substances analysées : BTEXN, huiles minérales, TCE

# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Chimeuse



## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Chimeuse

Comparaison pour 4 points des teneurs mesurées de **benzène** dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol

	Norme	106-105	108-107	H28	H48
Info.		carbonyl	goudron		
Cgaz_sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	8,5	96	3,7	7074	14
C_sol (mg/kg)	0,69	65 (5,5 m)	950 (5,5 m)	269 (1-2 m)	4,8 (1-2 m)
C_eau_sout ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	10	1990	160	< 0,5	1990

Profondeur de la nappe : 5-5,5 m

SPAQUE

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Chimeuse

Comparaison pour 4 points des teneurs mesurées de **naphtalène** dans les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol

	Norme	106-105	108-107	H28	H48
Info.		carbonyl	goudron		
Cgaz_sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	3	155	61	1199	47
C_sol (mg/kg)	36	7100 (5,5 m)	140 (3-3,5 m)	181 (1-2 m)	225 (1-2 m)
C_eau_sout ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	60	5100	< 0,01	2,4	5100

Profondeur de la nappe : 5-5,5 m

SPAQUE

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Chimeuse

Que retenir ?

- ✓ Dégazage significatif du benzène et du naphthalène cohérent / teneurs élevées mesurées dans les sols

Mais...

- ✓ Manque de corrélation solide entre sol/eau/gaz -> pas d'extrapolation possible des résultats
- ✓ Dégazage provenant essentiellement des sols non saturés
- ✓ Information utile pour l'organisation du suivi de l'atténuation naturelle (mise en place de 10 piézairs après assainissement des sols)

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site NAM

### Contexte - Objectif de la campagne

Activités historiques : ateliers mécaniques

Projet d'aménagement : résidentiel et parc

Forte contamination des sols et des eaux en huiles minérales et en solvants chlorés avec présence de produit en phase libre (huiles légères et lourdes, mazout)

-> Estimation du dégazage réel de ces composés

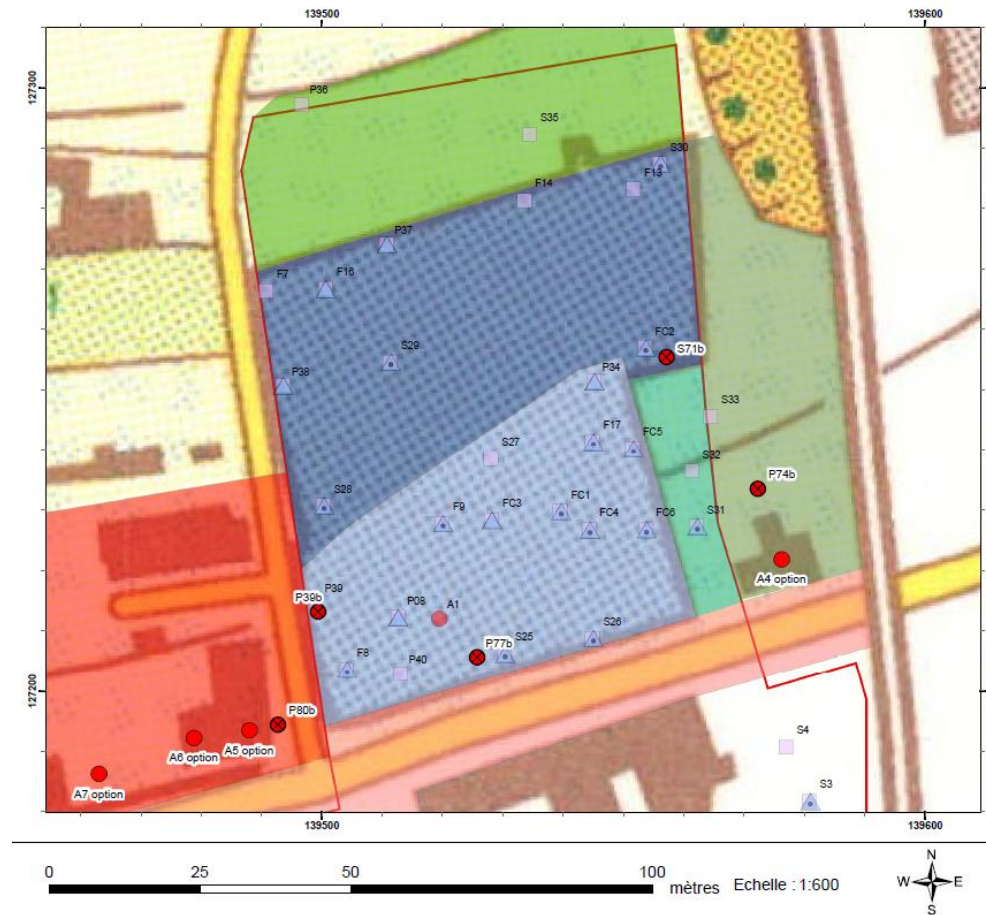
-> Organisation du suivi de l'atténuation naturelle

Nombre de campagnes : 3 (oct. 2007, mars 2008 et mai 2008)

Nombre de piézaires : 5 à 13 selon la campagne

Substances analysées : BTEX, huiles minérales, VOCl

# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site NAM



**SAED**  
Nouveaux Ateliers Mécaniques  
Commune de Morlanwelz  
Ht 5403-06

## Etude de projet - Lot 2

SPAQuE s.a.  
Plan d'échantillonnage:  
analyses air - Soil Gas Surveys

### Légende

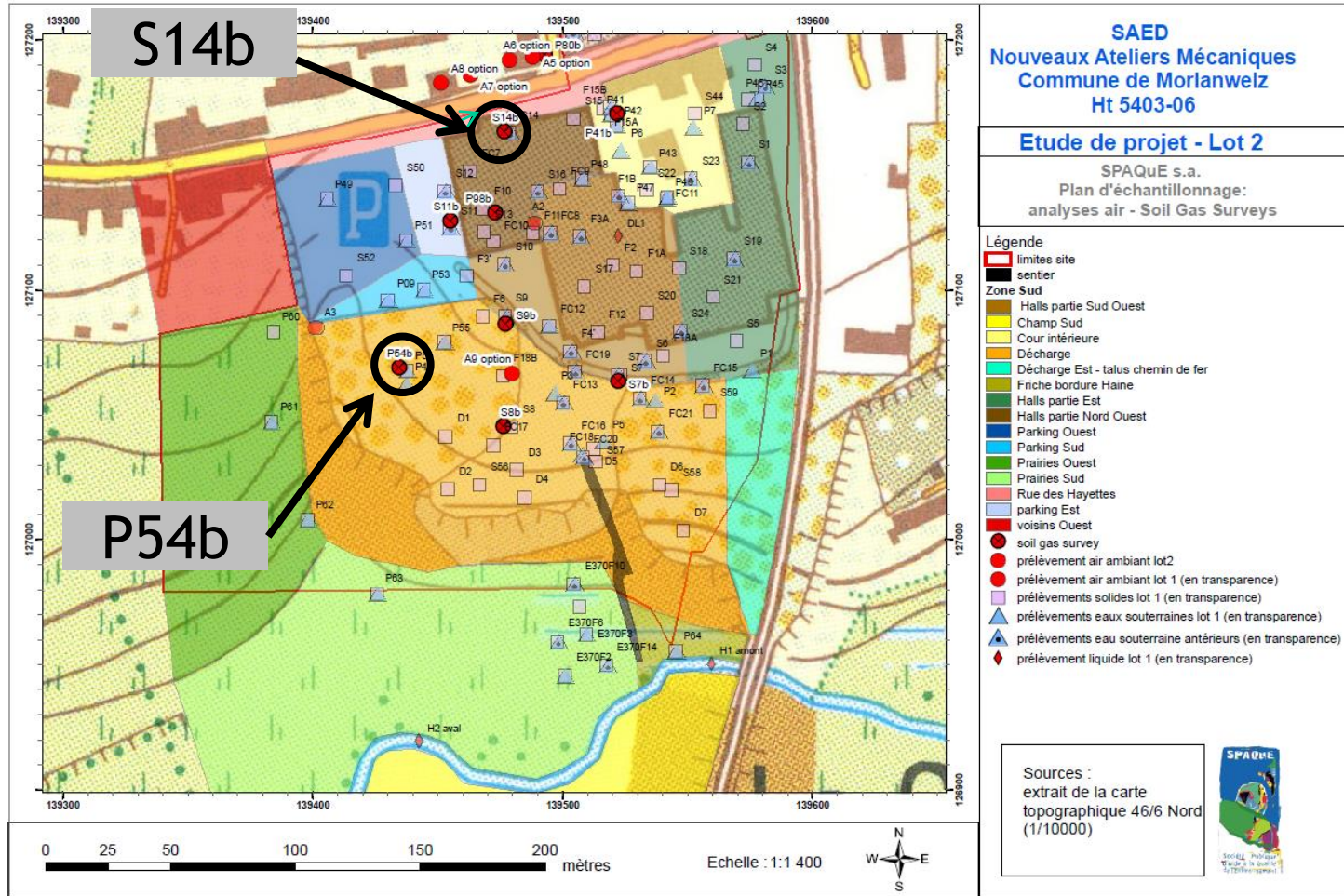
- limites site
- Zone Nord**
- Halls partie Nord
- Friche Est
- Halls partie Sud
- Pré aux Moutons
- Voisins Ouest
- Voisins Est
- rue des Hayettes
- prélèvement air lot2
- soil gas survey
- prélèvements solides lot 1 (en transparence)
- ▲ prélèvements eau souterraine antérieurs (en transparence)
- ▲ prélèvements eaux souterraines lot 1 (en transparence)
- prélèvement air lot 1 (en transparence)

Sources :  
extrait de la carte  
topographique 46/6 Nord  
(1/10000)





# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site NAM



## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site NAM

TCE	Norme	P54b Zone décharge-> parc	S14b Zone usine -> habitat
C_sol (mg/kg)	/	NA	NA
C_eau (µg/L)	70 / 200 / 4300	10 800	260
C_air du sol (µg/m <sup>3</sup> ) Oct.2007	23	21,2	47,2
C_air du sol (µg/m <sup>3</sup> ) Mars 2008	23	NA	NA
C_air du sol (µg/m <sup>3</sup> ) Mai 2008	23	566	234

Profondeur de la nappe : 1,5 m (Nord) à 7 m (Sud)

Sens d'écoulement : NNO -> SSE (Nord) SSO (Sud)

Pas de produit LNAPL en ces 2 points

SPAQUE

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site NAM - Que retenir ?

- Forte volatilité des VOCl
- Faible volatilité des huiles minérales
- Variabilité des mesures de VOCl selon la saison
- Variabilité des mesures si présence de LNAPL

### Zone décharge (futur parc) - usage récréatif sans bâti

- pas de volatilisation significative des huiles minérales lourdes même avec présence LNAPL
  - Peu de volatilisation des solvants chlorés
  - Etude de risques (EDR) : absence de pollution préjudiciable
  - Choix de l'assainissement : recouvrement par 1 m de limons compactés + suivi biodégradation (mesure de gestion)
- > diminution du coût de l'assainissement

## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Usine Cockerill - Atelier 5

### Contexte - Objectif de la campagne

Activités historiques : construction mécanique et montage de moteurs de bateaux (1817-2000)

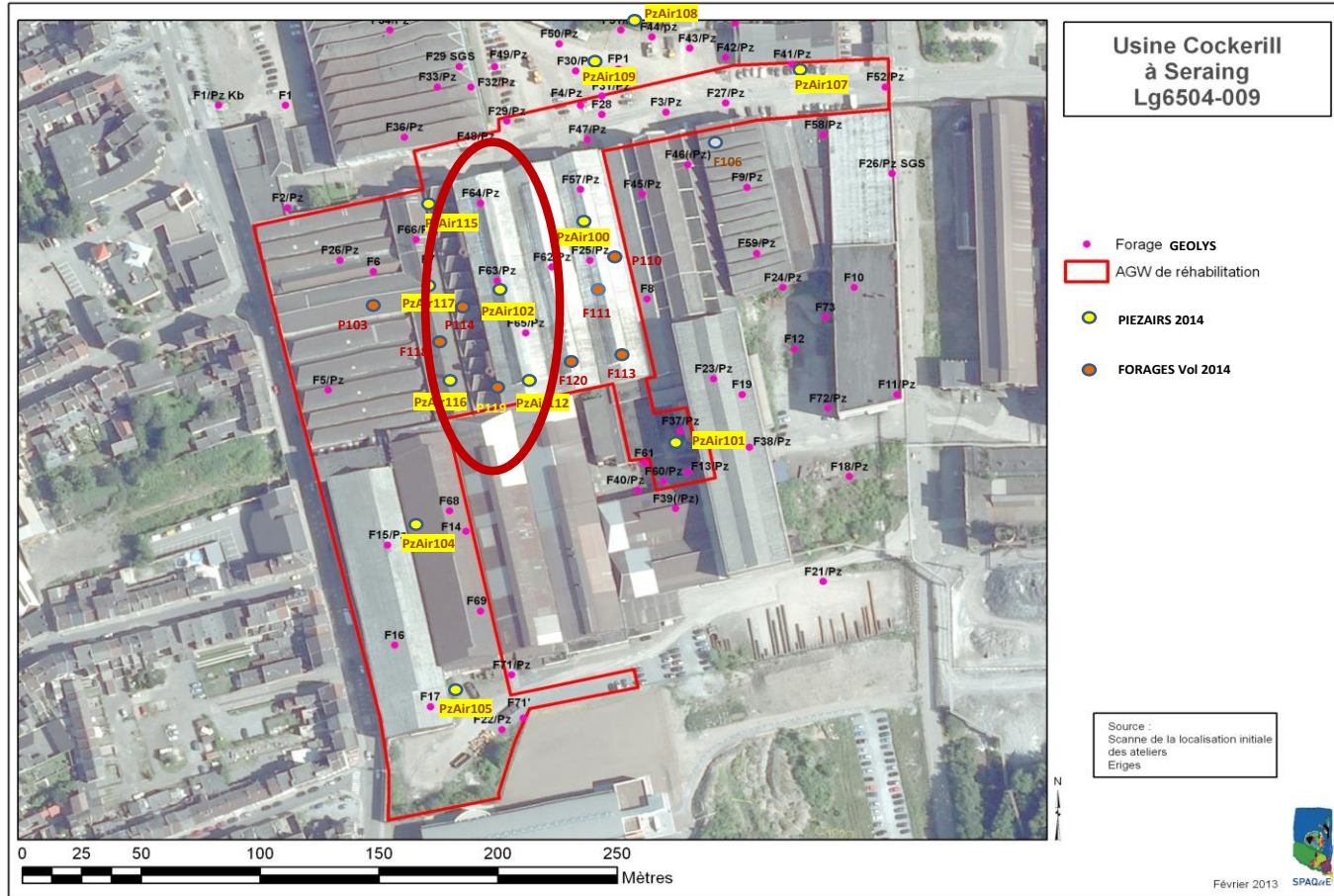
Projet d'aménagement : surfaces commerciales et bureaux en conservant la structure du bâtiment existant (murs et fondation) - bâtiment de plain pied avec dalle de 25 cm d'épaisseur

Nombre de campagnes : 3 (juillet 2014)

Nombre de piézairs : 3 au droit de l'Atelier 5 de 3325 m<sup>2</sup>

Substances analysées : BTEXS, huiles minérales, 3 HAP, VOCl, phénols

# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Usine Cockerill - Atelier 5



## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Usine Cockerill

µg/m <sup>3</sup>	P102	P112	P115	P102	P112	P115	P102	P112	P115
Benzène	21	33	15	<1	<1	<1	520	62	112
PCE	317	NA	173	1376	NA	209	1553	NA	228
TCE	5,5	NA	4,1	16,3	NA	4,4	21,8	NA	5,5
naphtalène	0,3	3,2	0,3	0,4	<0,06	0,2	0,2	<0,06	0,1
C8-C10 aliph	587	<29	360	120	1546	80	<59	1584	671
C10-C12 aliph	429	<29	664	<29	2745	<62	<59	3109	572
C12-C16 aliph	550	<29	650	76	404	<28	<128	3248	1974

Profondeur de la nappe : 1,5-2 m

SPAQUE



## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site Usine Cockerill

Que retenir ?

- ✓ Forte variabilité même au cours d'un mois : importance de réaliser plusieurs campagnes (fortes pluies avant la campagne n°2 et nappe très peu profonde)
- ✓ Interprétation délicate : étude de risques basée sur la concentration maximale dans les gaz du sol
- ✓ Proposition d'assainissement ou combinaison assainissement et mesures de gestion du risque basées sur des techniques constructives (membrane HDPE, coulage d'une nouvelle dalle de béton, mesures de ventilation classiques)

Tests d'étanchéité avec chiffons imprégnés d'isopropanol :  
problème d'étanchéité pour 4 des 12 piézairs

# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site sidérurgique

## Contexte - Objectif de la campagne

Activités historiques : sidérurgie (HF, aciéries, laminoirs, cokeries)

Superficie : 44 ha

Forte contamination des sols et des eaux en HAP, BTEX, huiles minérales avec présence de produit en phase libre

-> Estimation du dégazage réel de ces composés

-> Test de 3 méthodes de prélèvement : GORE™ Sorber, PDMS (passifs) et prélèvement actif (charbon actif)

Nombre de campagnes : 1 (août 2008)

Nombre de piézajirs : 419 PDMS, 92 GORE™ Sorber, 17 CA

Substances analysées : BTEX, naphthalène, PCE, TCE, huiles min.

Profondeur de la nappe : 4 m (écoulement vers le NE)

SPAQUE





# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site sidérurgique

Maillage de 20 m x 20 m

Espace entre PDMS et GORE™ Sorber : 0,5 m

Durée exposition : 7 jours

Profondeur échantillonnage : 1 m

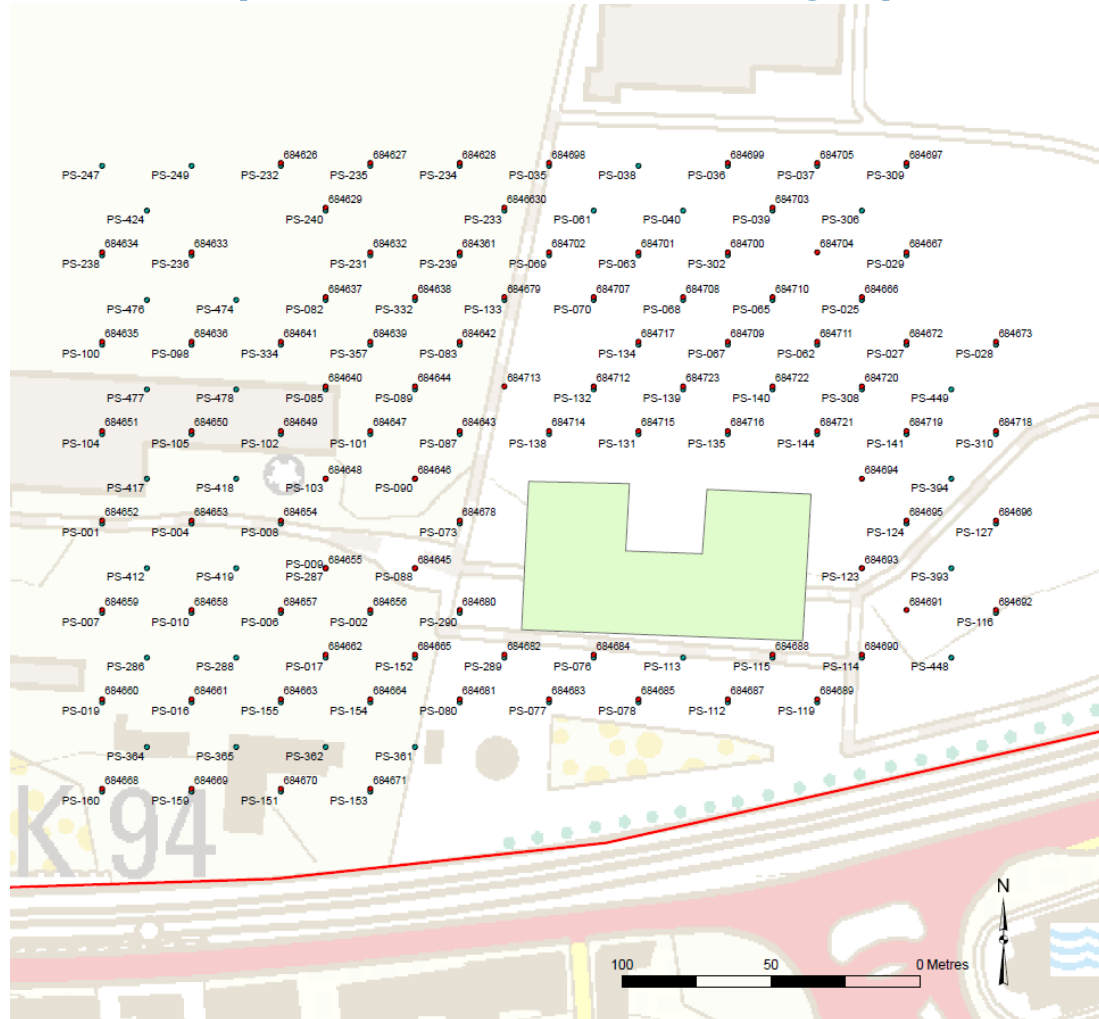


GORE™ Sorber : membrane en GORE-TEX® imperméable à l'eau mais perméable à l'air + un produit adsorbant



PDMS : membrane en PolyDiMéthylSiloxane imperméable à l'eau + un produit adsorbant (charbon actif)

# 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site sidérurgique



- **GORE™ (92 points)**
- **PDMS (419 points)**



## 6. Intérêts et limites de l'utilisation de ces données dans l'évaluation des risques - Exemple : Site sidérurgique

Que retenir ?

- Prélèvement passif = semi-quantitatif
- Mission d'identification des composés remplie -> mise en évidence de composés chlorés non attendus
- Techniques peu sensibles aux polluants submergés dont la volatilité est réduite
- Pas de corrélation claire GORE™  
Sorber/PDMS/charbon actif



## 7. Informations du guide FLUXOBAT (2013)

### Chapitre 4. Mesures des Concentrations dans les gaz du sol

- Échantillonneurs passifs : non recommandés à ce jour pour une quantification car méconnaissance de l'influence de l'humidité du sol ou des facteurs de diffusion
- Influence  $P_{atm}$  (rafales de vent), précipitations, température ( $\Delta T = 5^{\circ}C$ )
- Influence négligeable du volume prélevé entre 30-80 L



# 8. Documents de référence

- Protocole de prélèvement - GRER - Annexe B10
- Norme ISO 10381-7 [piézair]
- Norme ISO 16200-1 [échant. Gaz - actif]
- Projet ATTENA. « Mode Opérateur - Apports et limitations de l'analyse des gaz du sol », ADEME, janvier 2013
- Projet FLUXOBAT. « Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur-Guide méthodologique », Traverse *et al.*, novembre 2013

