Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer

Journée technique d'information et de retour d'expérience de la gestion des sites et sols pollués
Mardi 15 novembre 2016

Organisée par l'INERIS et le BRGM, en concertation avec le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Les gaz du sol et l'air intérieur

Le projet TEMPAIR : métrologie et facteurs d'influence

Sylvie TRAVERSE, BURGEAP
s.traverse@burgeap.fr

Corinne HULOT, INERIS
corinne.hulot@ineris.fr

GINGER BURGEAP

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Contexte et objectifs

Enjeu de la qualité de l'air intérieur

- Impact des pollutions de sol sur la qualité de l'air
- Gestion des sites à passif environnemental

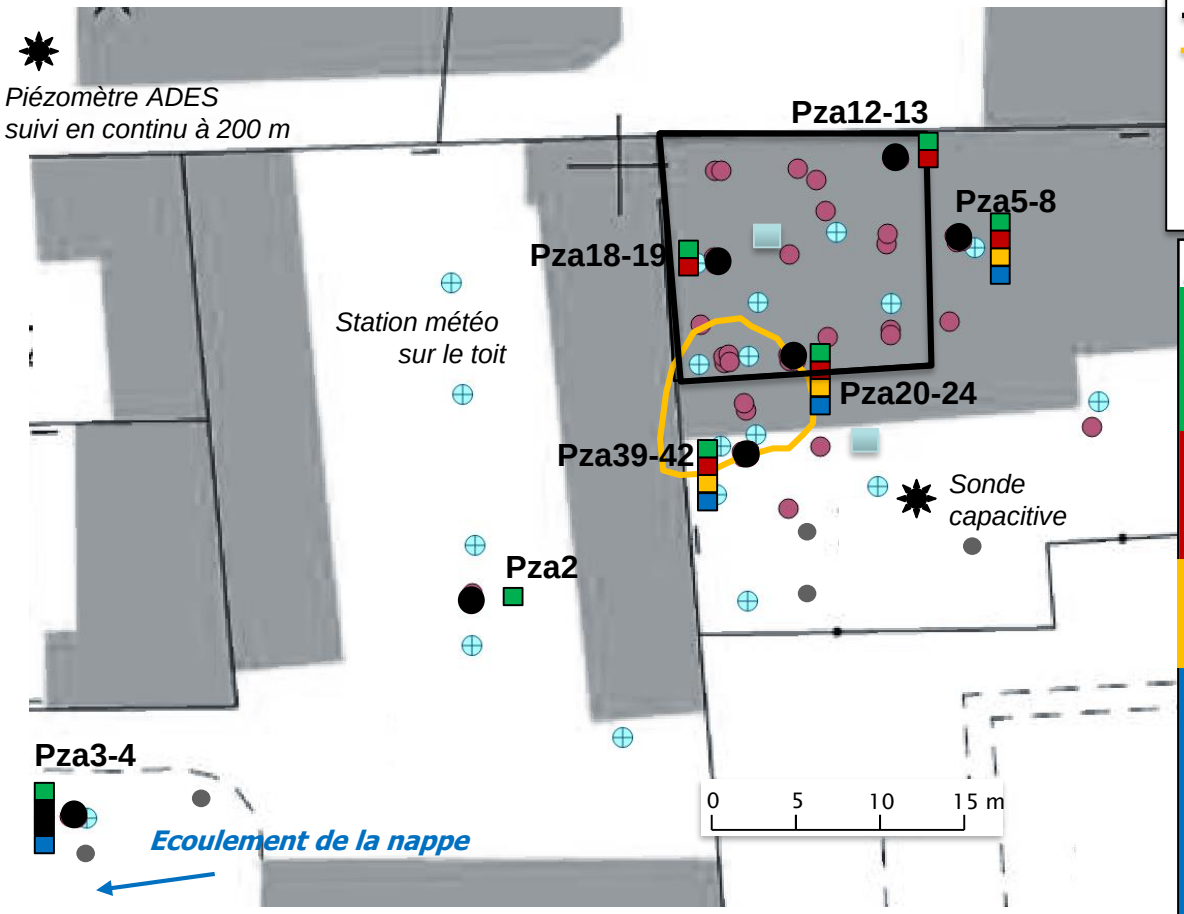
Mesures

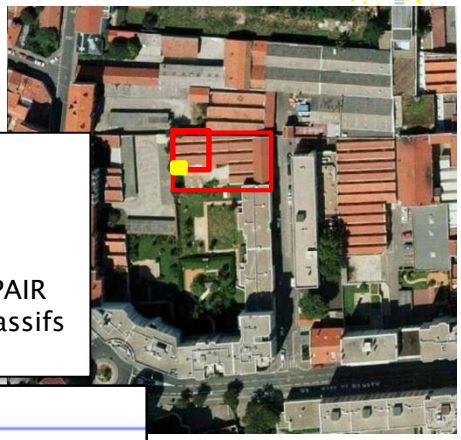
- Quelle représentativité spatiale et temporelle des mesures ?
- Intérêts et limites des échantillonneurs passifs pour les gaz du sol ?
- Quel intérêt d'utiliser des filtres anti-humidité pour les gaz du sol ?

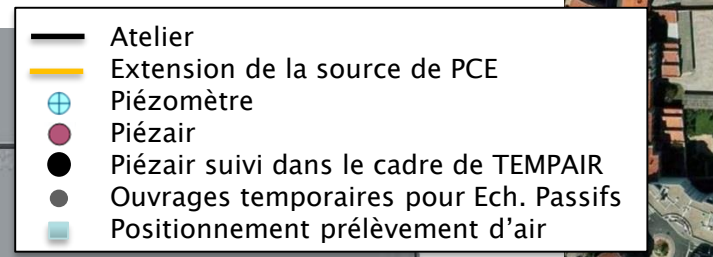
➡ **Projet R&D co-financé TEMPAIR (2014-2016)**

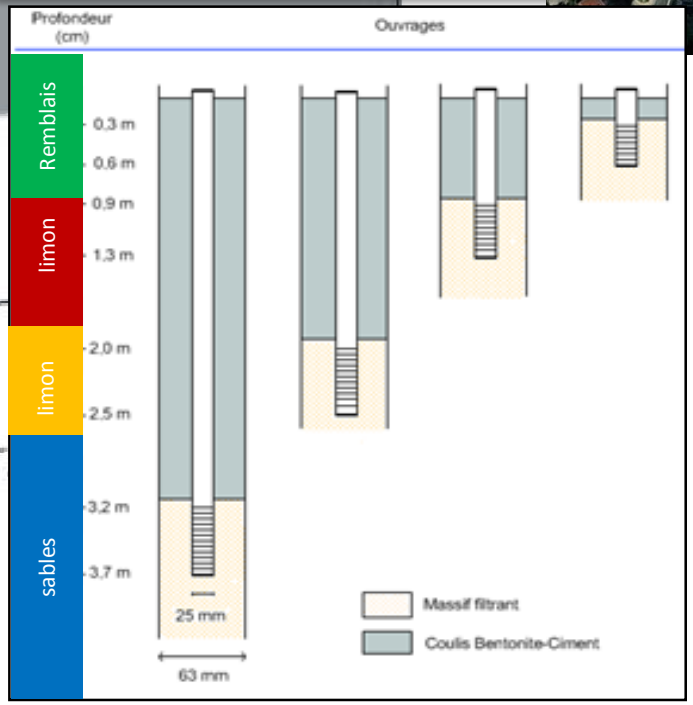
- ✓ Axe 1 : Lien entre variations de concentrations et facteurs d'influence (gaz du sol et air intérieur)
- ✓ Axe 2 : Echantillonneurs passifs
- ✓ Axe 3 : Filtres anti-humidité

- Source PCE dans la zone non saturée
- Nappe à 5 mètres de profondeur
- Piezairs à différentes profondeurs de 0,3-0,7 m à 3,2-3,7 m





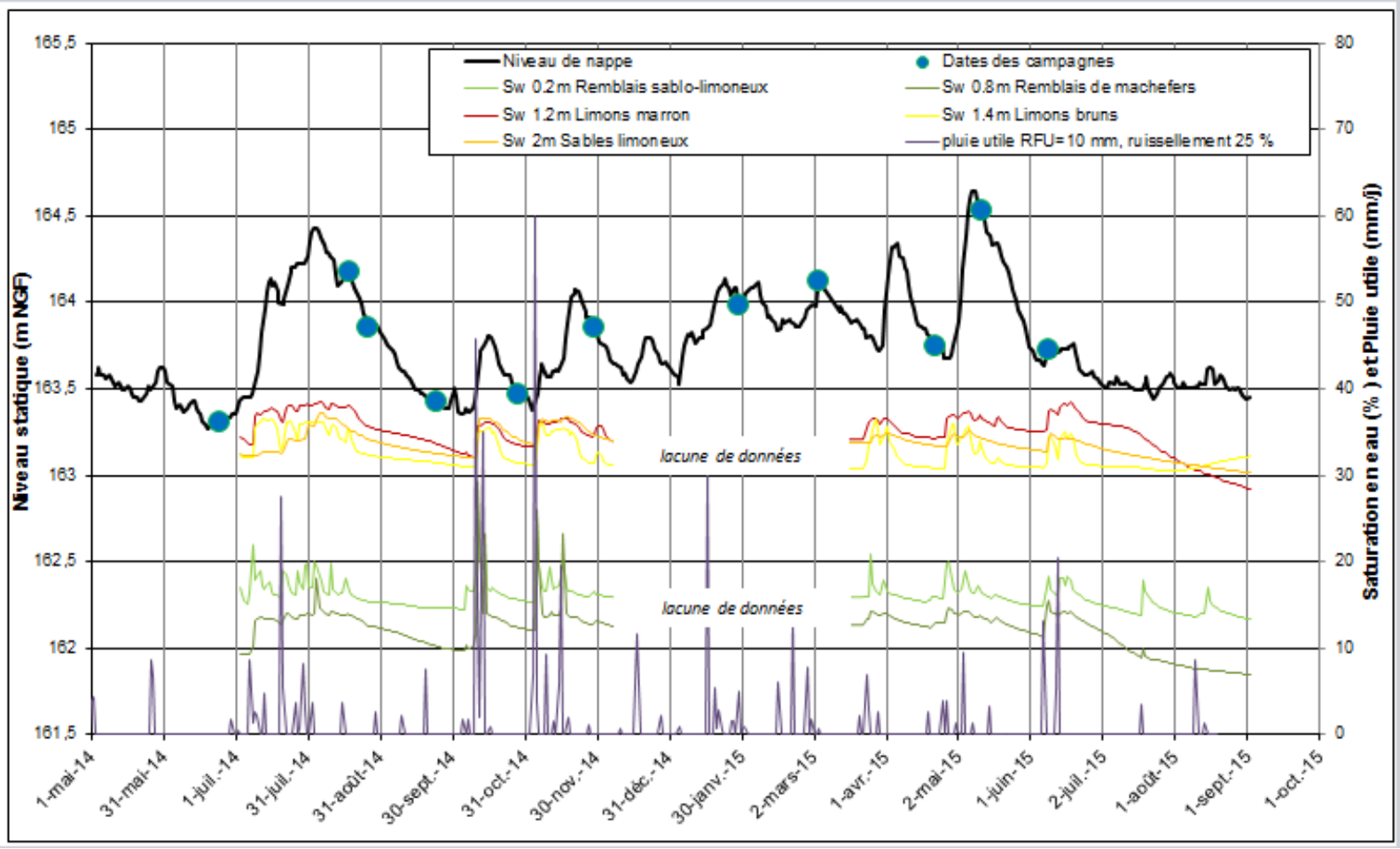




Axe 1 - Matériel et méthode (2)

1- Suivi des variables

- Paramètres météo (vent, T_{int}, T_{ext}, HR_{int}, HR_{ext}, P_{atm})
- Pluie journalière (et pluie utile)
- Niveau statique et saturation en eau des sols
- Dépression GdS-AI

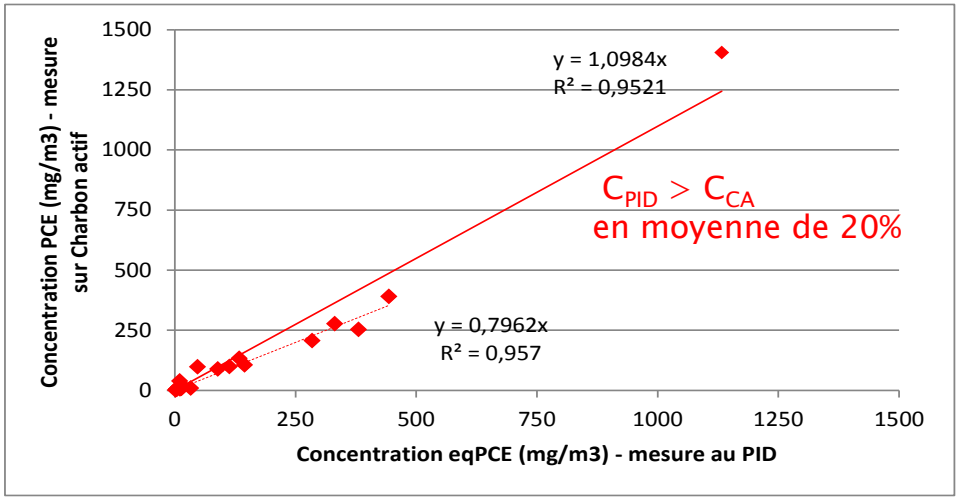


Campagnes conduites

- GdS :
  Campagnes : 13 ponctuelles & 3 suivis en continu
- Air intérieur :
  4 campagnes en continu de 6 à 9 j
- Ech. passifs :
  3 campagnes de 1 à 8 j
- Filtres anti-humidité :
  3 campagnes sur 3 ouvrages

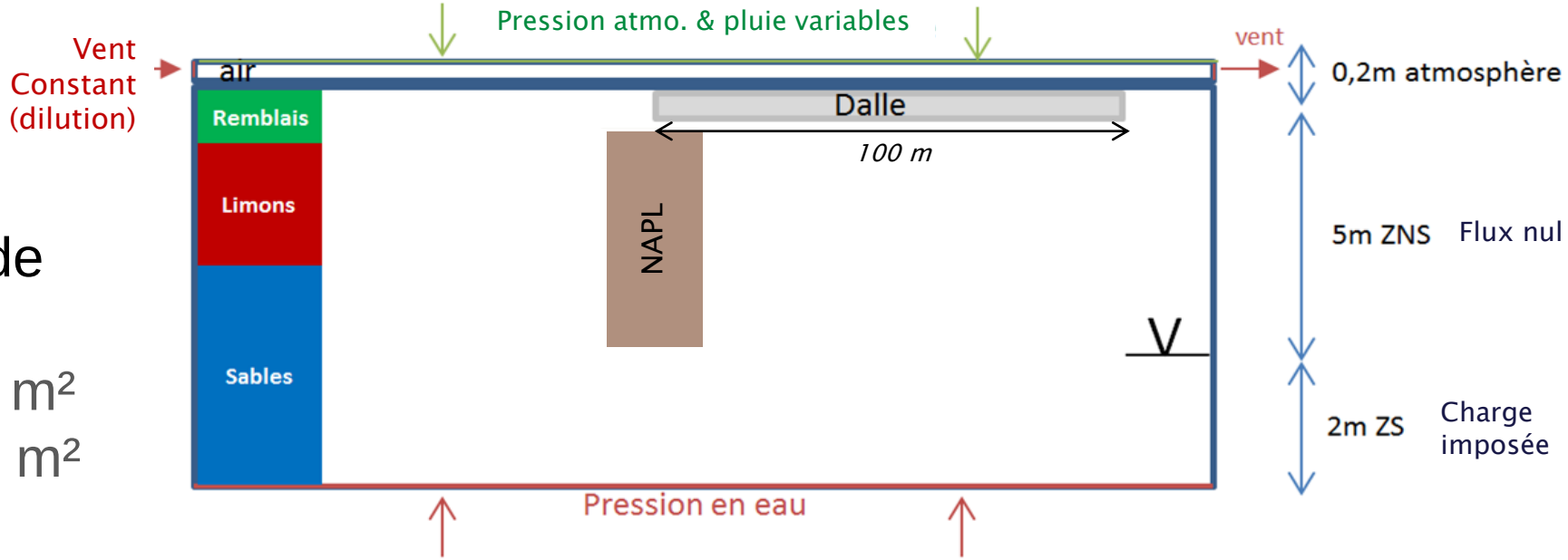
Mesures conduites par photo-ionisation (PID miniRAE3000)

- Comparaison avec accumulation sur charbon actif + GC-MS
  - -> bonne corrélation $r^2 > 0,95$
  - -> adapté car pollution PCE majoritaire



Modélisation 2D transitoire

- Une année modélisée (P_{atmo}, Pluie, NS)



- Perméabilité de dalle :

K_{dalle} : 2.10^{-12} m²

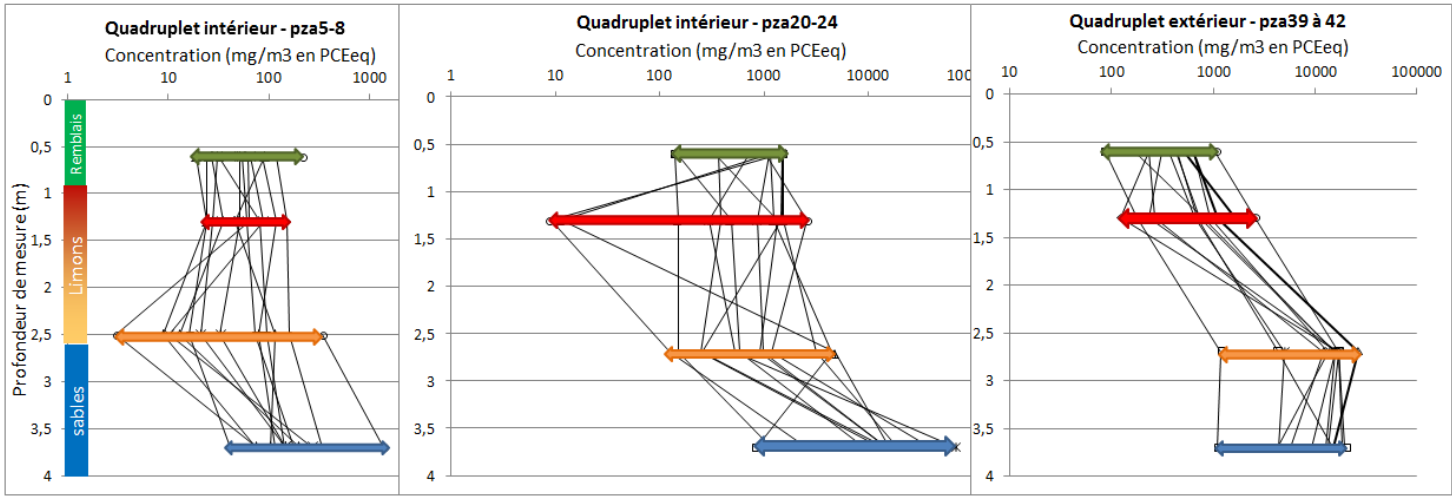
K_{dalle} : 2.10^{-16} m²

Variabilité spatiale mesurée (PCE)

- Sous la dalle du bâtiment (160 m²) :
  - Au sein de chaque horizon: 1 à 3 ordres de grandeur
  - Entre horizons (vertical) : 1 à 2 ordres de grandeur
- Hors bâtiment à 30 mètres de la source : impact mesuré à certaines périodes
  - Sables : <0,1 à 75 mg/m^3
  - Remblais : <0,1 à 26 mg/m^3

Variabilité temporelle mesurée (PCE)

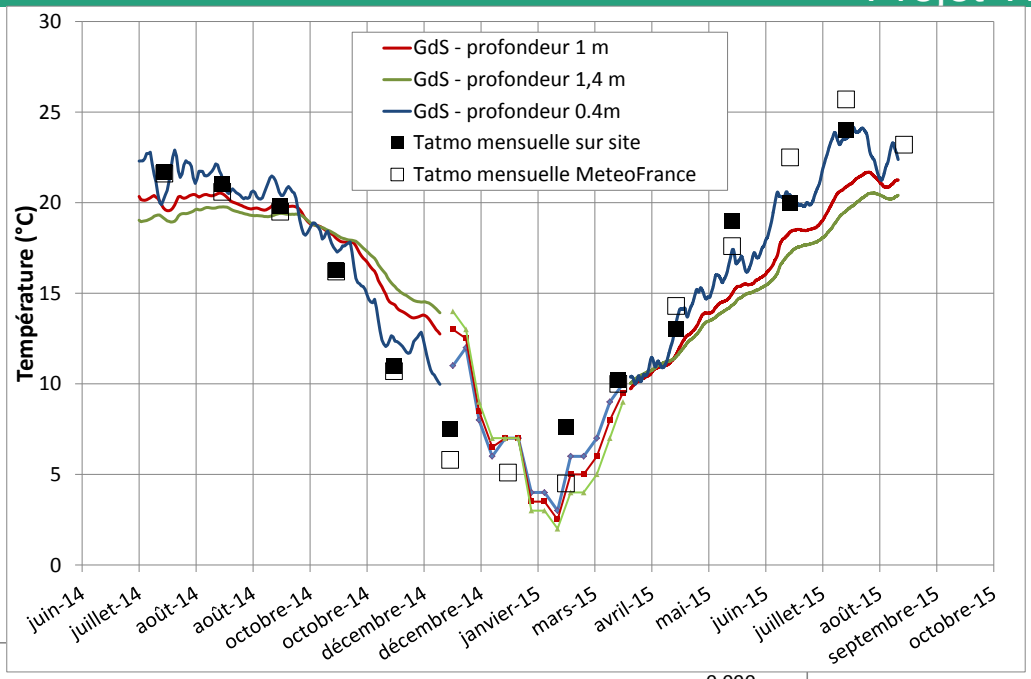
- Variabilité saisonnière
  - Limons : facteur 6 à 300
  - Sables : facteur 18 à 190
  - Remblais : facteur 11 à 25



- Variabilité pluri-journalière et diurne
  - Pluri-journalière : pouvant atteindre un facteur 10 (remblais et limons)
  - Diurne : de l'ordre de 10% (↑ nuit ↓ journée)

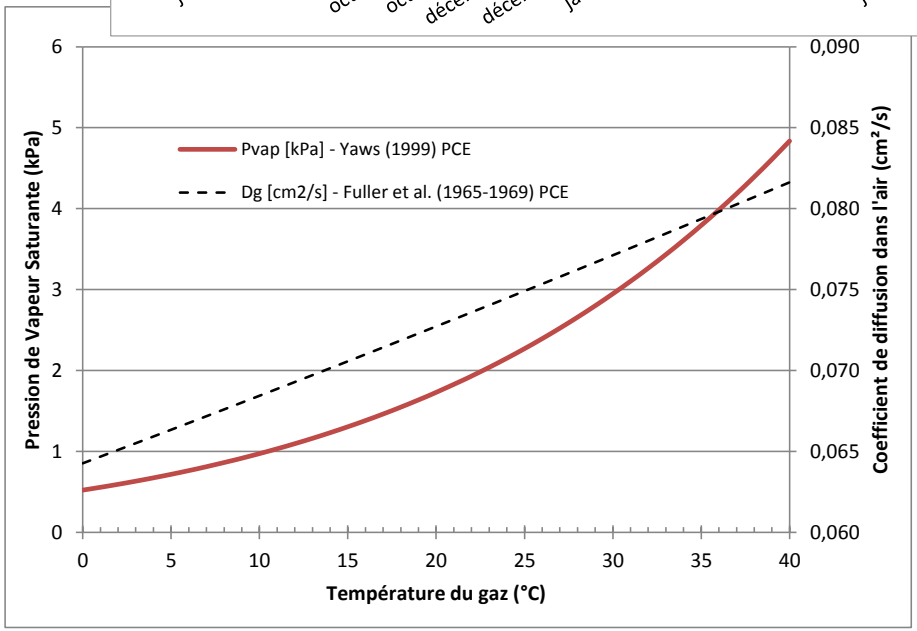
Variation de température

- $DT_{atmosphère}$: -4 à 39°C
- $DT_{GdS-0,4m}$: 3 à 23°C
- $DT_{GdS-1,4m}$: 2 à 20°C



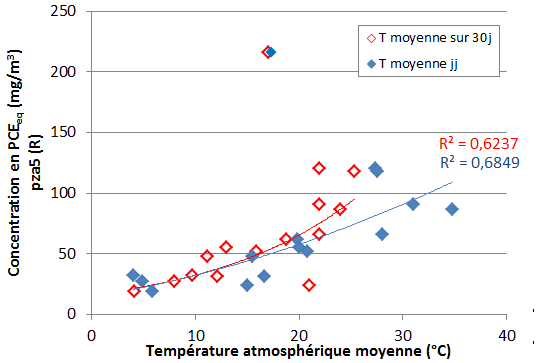
Pression de vapeur saturante & coefficient de diffusion

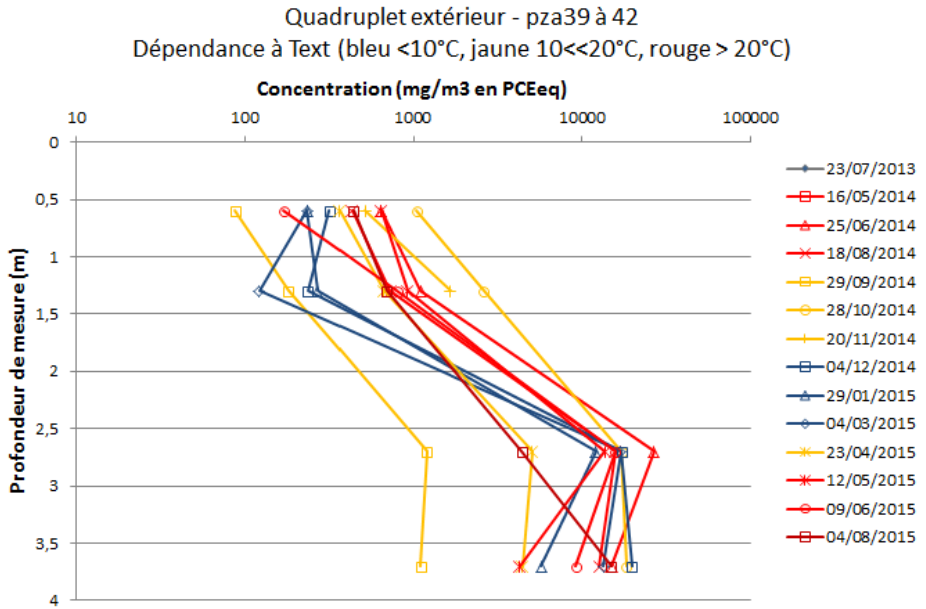
- $DC_{PCEsaturation}$ 38 à 131 g/m³ (+240%)
- DDg_{PCE} 0,065 à 0,074 cm²/s (+14 %)



Température et concentrations

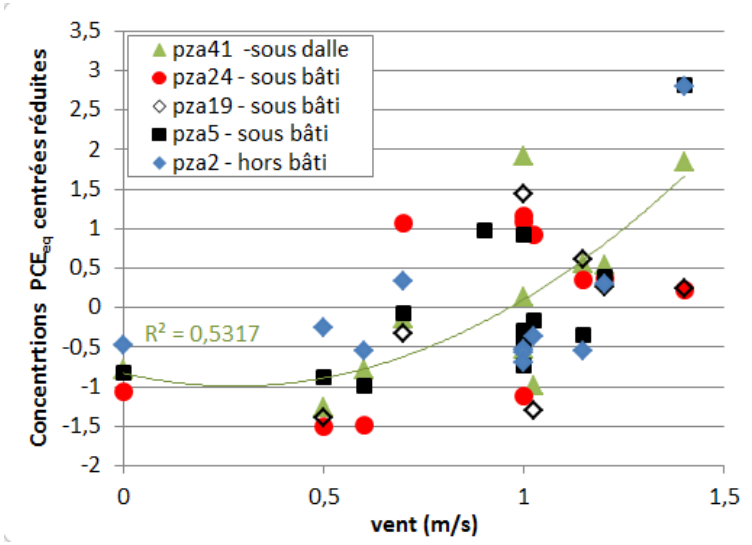
- Incidence tant sous bâti qu'en extérieur
- $r^2>0$ significatifs dans les remblais et toit des limons





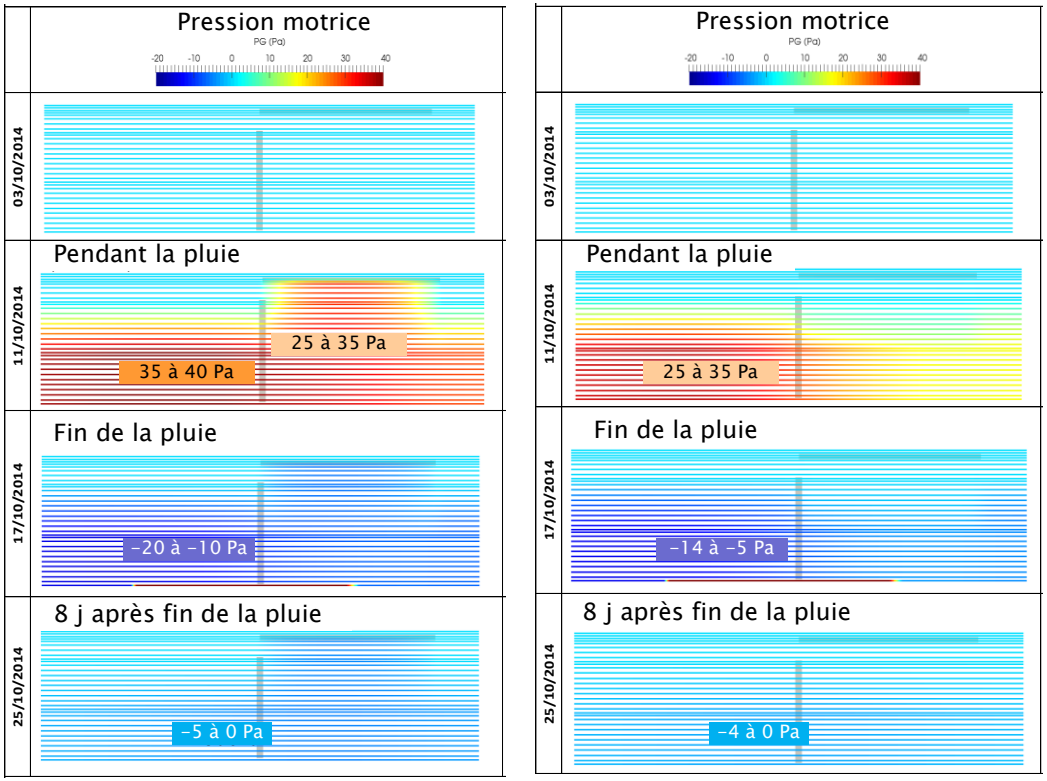
Vent et concentrations

- Dans les sables :
  -> absence de corrélation
- Dans les remblais :
  -> corrélation positive (forte dispersion et r^2 pas toujours significatifs)



Impacts modélisés

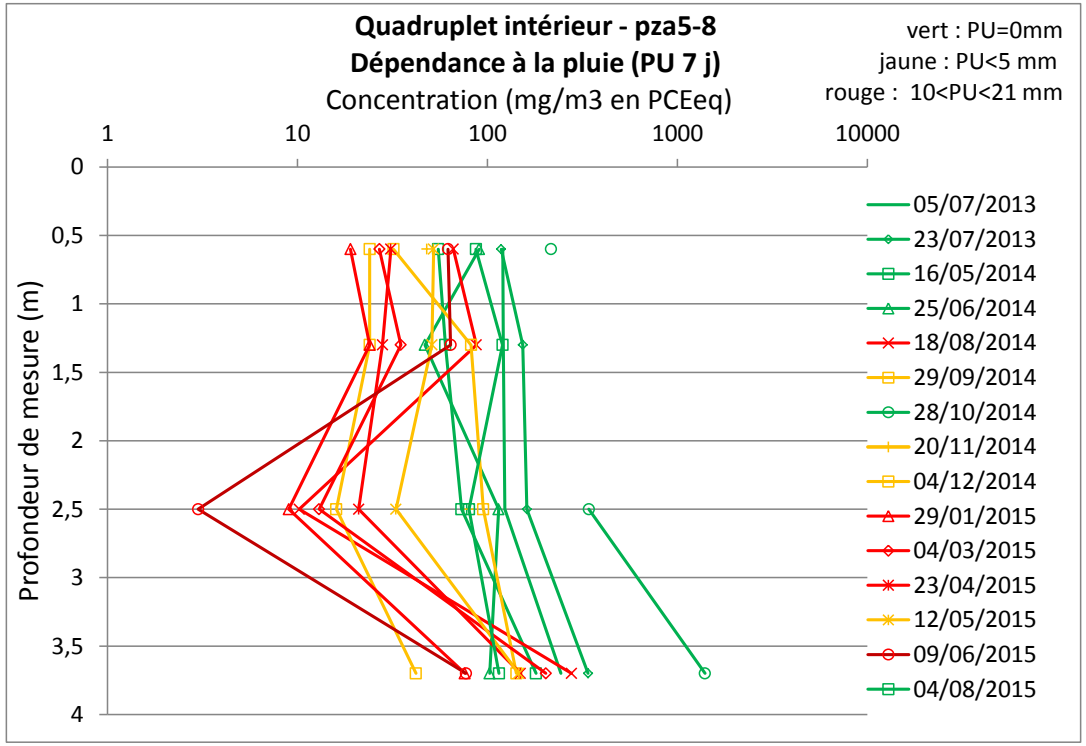
- Sur les pressions, écoulements et concentrations : dépendants de K_{sol}, K_{dalle} et profils S_w
- DF_{PCE-Al} < facteur 7 & DC_{PCE} < facteur 2



K_{dalle-} (2.10^{-16} m²) - K_{dalle+} (2.10^{-12} m²)

Concentrations impactées sous dalle

- Effet opposé à court terme dans les remblais et localement limons
- Effet possiblement positif à plus long terme dans les sables



- **Observations de variations temporelles des concentrations sur le site atelier** :
  - A l'échelle saisonnière, de 1 à 2 ordres de grandeur
  - A l'échelle pluri-journalière, ayant pu atteindre 1 ordre de grandeur
  - Enfin, des variations cycliques diurnes moindres sont également identifiées (10%)

  Parallèlement variabilité spatiale de 1 à 3 ordres de grandeur sous l'atelier

- **Interprétation de cette variabilité** :
  - Echelle saisonnière :
    - corrélations mises en évidence avec la température, la pluie, le vent.
    - Impacts modélisés mais non mesurés des variations de la pression atmosphérique et du niveau de nappe
  - Echelle pluri-journalière : Mise en évidence de l'impact de la pluie et du vent
  - Echelle journalière : cyclicité diurne liée essentiellement au gradient thermique

- **A retenir cependant :**
  - Interprétation en lien avec le site atelier (pollution, lithologie, aménagements)
  - Absence de modèle explicatif générique

Recommandations

- Prendre en compte l'influence des variables hydro-météorologiques dans la conception d'un réseau de mesure, le dimensionnement des campagnes et leur interprétation
- Nombre de campagne, de points d'observations, et des périodes dépendant de **l'objectif des mesures**
- Mesurer ces variables pendant la campagne et connaître l'historique de ces variations
- Bien appréhender **le fonctionnement du système**

  - **Anticiper** l'effet des variations de variables sur les concentrations dans les gaz du sol : **niveau de nappe, pression atmosphérique, vent (direction et amplitude), pluie, température**
  - Choisir des **conditions contrastées adaptées** pour la conduite des campagnes de mesures

Perspectives

- Modélisations transitoires de cas types pour aider à l'anticipation des effets

- **Données utilisées**
  Suivis des concentrations au PID ppb au centre de l'atelier durant 4 périodes de 5 à 9 jours

	Campagne 1		Campagne 2		Campagne 3	Campagne 4
Dates	mai 2014 (2,5jours)	mai 2014 (4 jours)	nov. 2014 (8 jours)	déc. 14 (5 jours)	mars 15 (9 jours)	Août 15 (6 jours)
Ventilation mécanique	Ventilation mécanique à 1 h^{-1}		arrêtée		arrêtée	arrêtée
Chauffage	non		oui		oui	non
Conc. min en PCE_{eq} ($\mu g/m^3$)	31	57	95	249	59	26
Conc. moyenne en PCE_{eq} ($\mu g/m^3$)	63	77	202	535	78	79
Conc. max en PCE_{eq} ($\mu g/m^3$)	102	154	296	709	145	178
Facteur max / min (-)	*3,3*	*2,7*	*3,1*	*2,8*	*2,5*	*6,9*

D Saisonnière
- jusqu'à un facteur 9
- corrélée au chauffage

D Pluri-journalière
- Facteur de 3 à 7
- corrélée aux températures, vents, humidité et ensoleillement (stabilité atmosphérique)

D Diurne
- jusqu'à un facteur 2
- corrélée à l'ensemble des conditions nocturnes
- Effet dépendant de l'état de saturation des sols

Lien avec la dépression AI-GdS

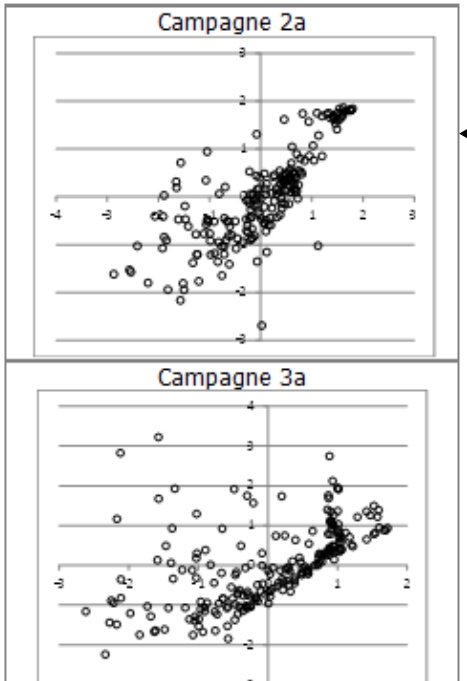
- Chauffage et dT de 12 °C conduit à une dépression $dP_{AI\text{-}GDS}$ de 2-3 Pa
- Cyclicité diurne
  ↑ la nuit et ↓ en journée
- Chute des T_{ext} -> stabilité du dT et du dP

Incidence sur les concentrations

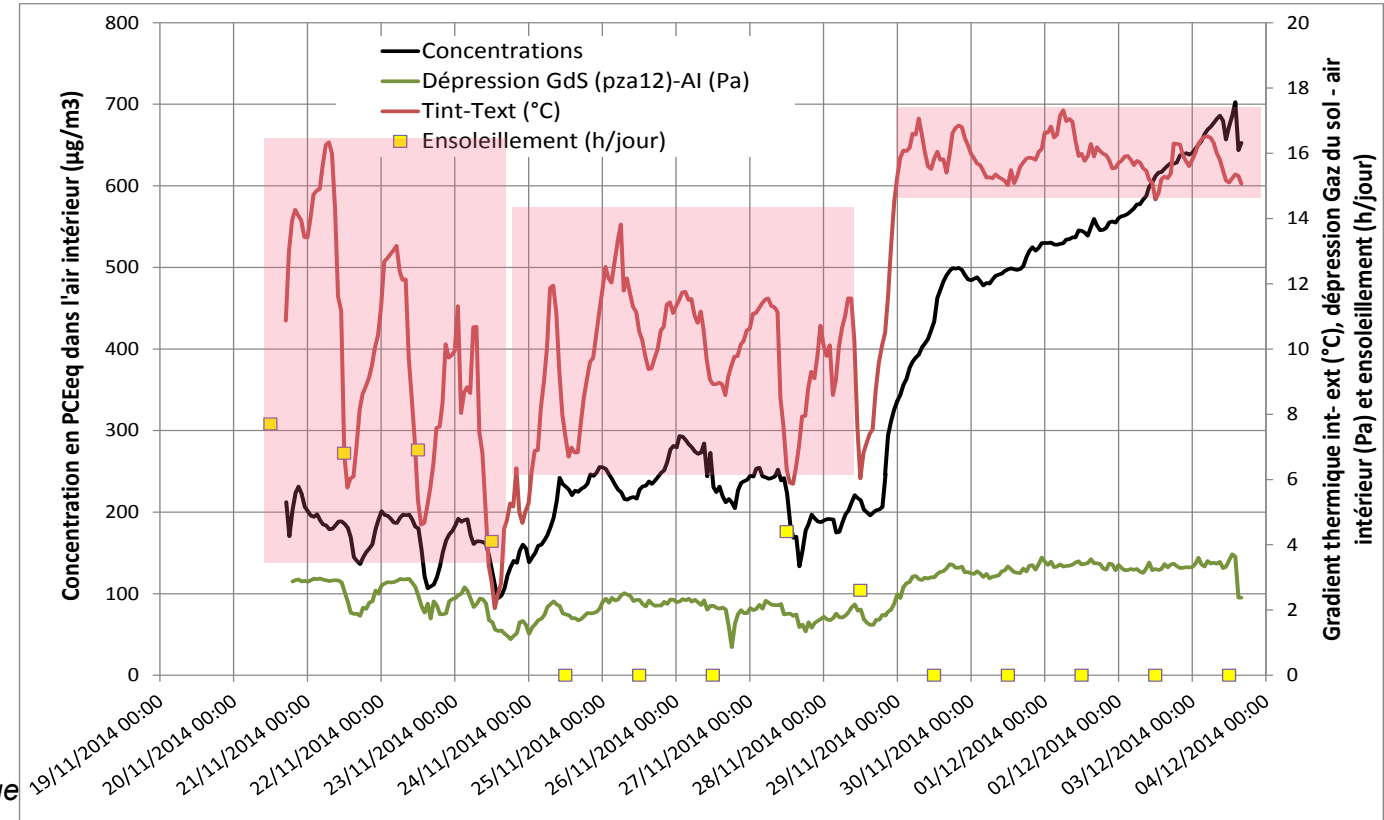
⇨ Augmentation des concentrations (x9)

⇨ ↑ la nuit et ↓ en journée (max x2)

⇨ Augmentation Pluri-journalière (x7)
Cycles jour / nuit moins visibles



x Gradient thermique intérieur-extérieur (centré réduit)
y Différence de pression AI-GdS (centré réduit)

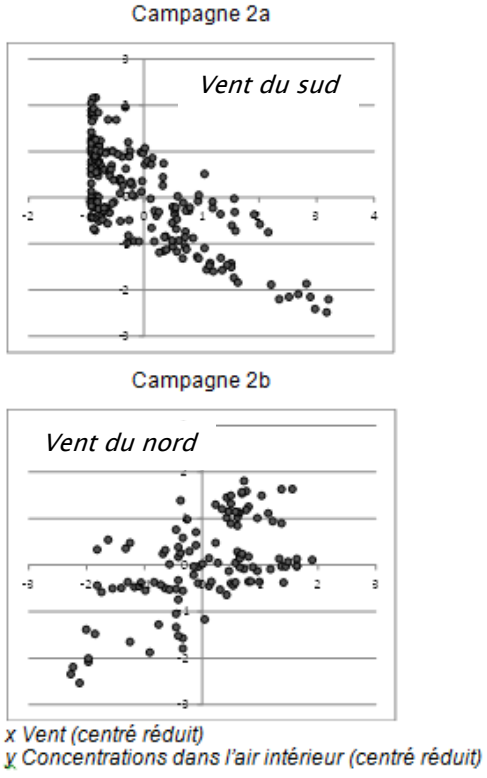


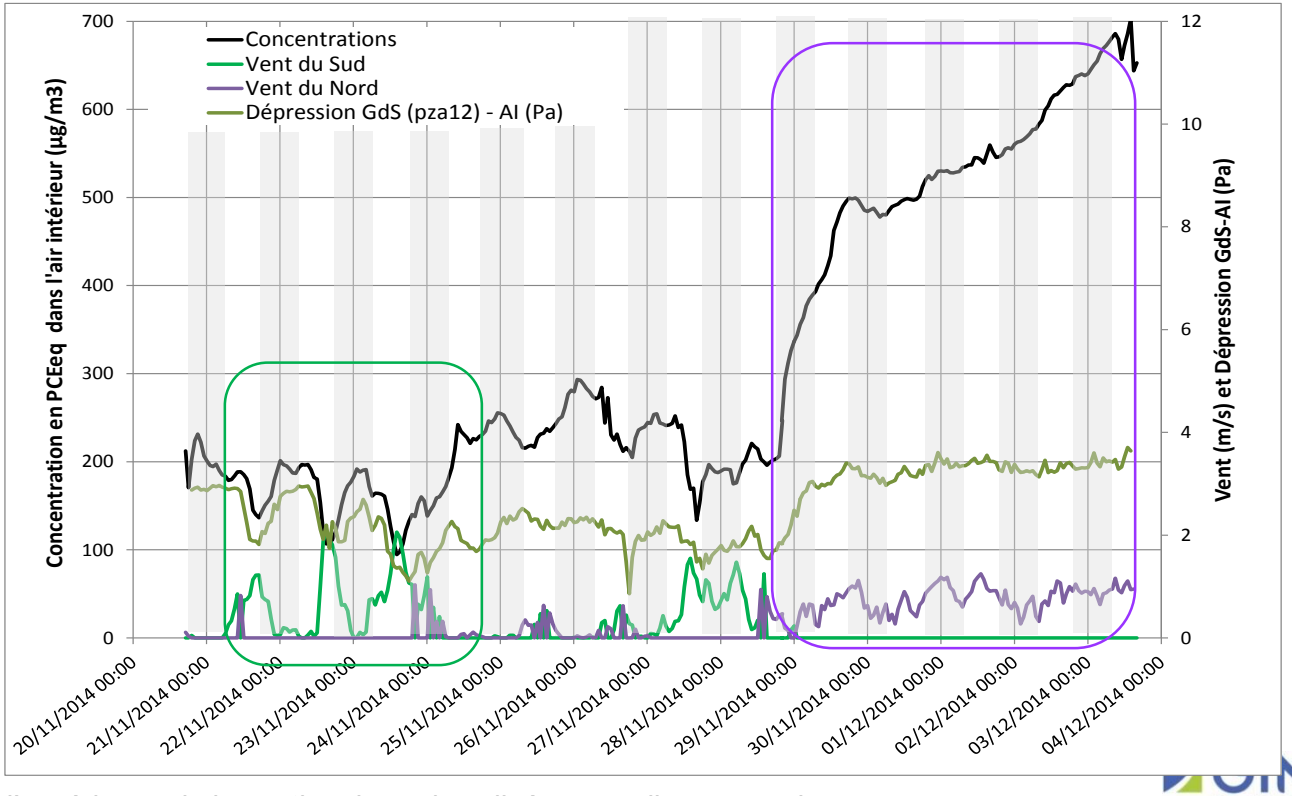
Incidence sur les concentrations

Dépendante de la saturation en eau des terrains & direction du vent

- En période de retour à l'équilibre (S_w ↓), l'air atmosphérique réalimente les terrains
  - le vent du sud (coté source) diluerait les concentrations sous dalle ($r^2_{vent-AI}$ = 0,5)
  - le passage à vent du nord ferait réaugmenter les concentrations ($r^2_{vent-AI}$ = 0,3)

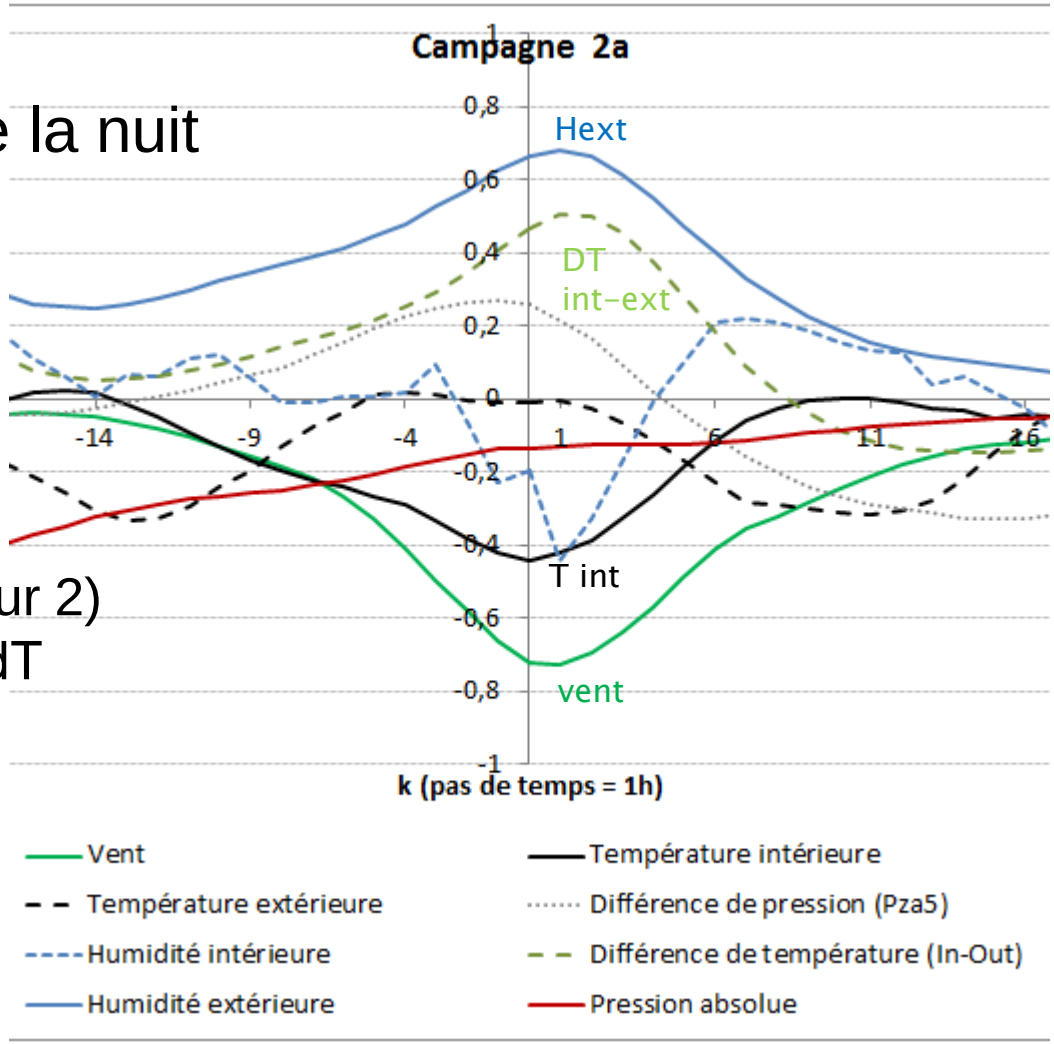
- En période d'augmentation de la saturation en eau des terrains, les flux d'air sont ascendants dans les terrains, le vent aurait une incidence limitée ($r^2_{vent-AI}$ faible)





Cyclicité de 24 heures

- Atmosphère instable en journée/stable la nuit
  - vent plus élevé en journée
  - Température plus élevée en journée
  - Humidité relative plus faible en journée



- Incidence observée
  - cycles de concentration de 24 h (DC < facteur 2)
    - ↑ la nuit et ↓ en journée si dP corrélée à dT
    - ↑ en journée si dP corrélée à la pression atmo ou au vent

Tendance pluri-journalière

- Périodes observées de stabilité atmosphérique plus importante

  ↑ sensibles des concentrations (jusqu'à un facteur 7)

Conclusions

- Observations de variations des concentrations sur le site atelier :
  saisonnière (x9), pluri-journalière (x7) et diurne (x2)
- Explications par les variables hydro-météorologiques et de chauffage en ayant une bonne connaissance des pollutions et de la lithologie en présence
  -> interprétation « site spécifique »

Recommandations

- **Acquisition de données en parallèle des mesures** de $C_{air\ intérieur}$
  - variables météorologiques dont T_{int}, T_{ext} et dT, vent (amplitude et direction), ensoleillement
  - concentrations dans les gaz du sol (! variabilité spatiale) ou dans les zones de transfert
- **Durées et périodes des mesures** compte tenu des variations temporelles observées
  - conduire a minima 3 campagnes en conditions contrastées (avec a minima une en hiver)
  - conduire les mesures sur de longues périodes (! Maîtrise des sources domestiques)
  - si nécessaire, adapter les périodes de mesure aux périodes d'exposition des populations (attention à la présence de ventilation modulée/asservie)
  - et toujours : dimensionner les mesures en fonction du site et des objectifs

Les prélèvements d'air à l'intérieur (et l'extérieur) d'un bâtiment, des gaz du sol

- une composante importante des démarches de gestion des sites pollués (Interprétation de l'Etat des Milieux, Plan de Gestion)

La nécessité de connaître les concentrations dans les sols, la nappe et les gaz du sol (milieu intégrateur), l'air

Pour les gaz du sol, classiquement, en France

- mise en œuvre de prélèvements actifs sur des supports adsorbants
- plus occasionnellement par aspiration naturelle (Canister®)
- des prélèvements d'une durée maximale de quelques heures

Des variations temporelles des concentrations

D'autres dispositifs, pour

- mieux intégrer les variations temporelles des concentrations
- mieux appréhender des mécanismes de transfert
- *et in fine* évaluer les expositions des populations
- ➢ avec des durées de prélèvement *significativement* plus longues

➢ **Les échantillonneurs passifs (EP) pour l'acquisition de « concentrations moyennes » sur une durée de plusieurs jours**

Les échantillonneurs passifs

Quelques autres avantages

- en présence de sols peu perméables
- membranes et/ou des adsorbants hydrophobes au regard des taux d'humidité importants présents dans le milieu gaz du sol

Les principaux éléments d'un EP

- un adsorbant avec des caractéristiques physico-chimiques adaptées aux objectifs des prélèvements envisagés, à la nature des molécules étudiées, aux gammes de concentrations, aux durées de prélèvement
- un ou plusieurs éléments protégeant l'adsorbant du milieu étudié mais permettant néanmoins la diffusion des gaz, par exemple, une membrane poreuse hydrophobe, un corps diffusif, un tube en acier inoxydable ou un vial en verre muni ou pas d'une tête de diffusion
- une tête de diffusion, pour certains, surmontant le vial en verre ou le tube en acier

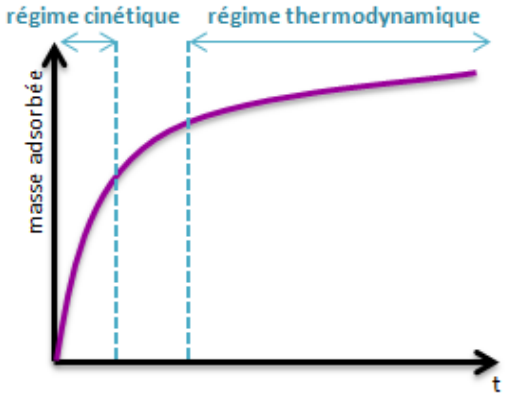
Axe 2 – Evaluation des EP dans les gaz du sol

Les EP : principe de fonctionnement général

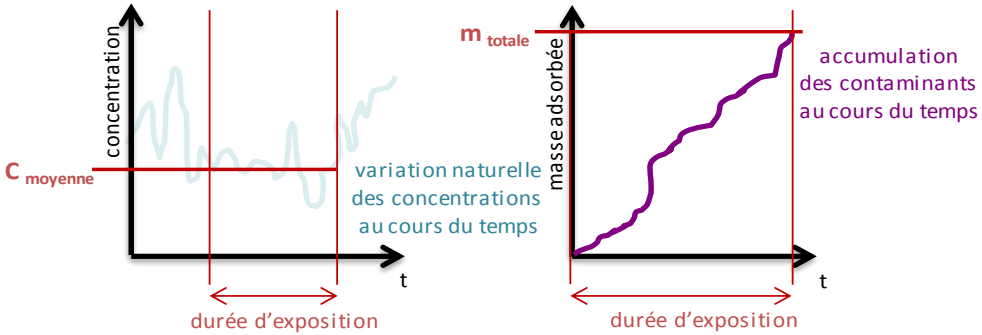
Projet TEMPAIR

- Principe des échantillonneurs passifs intégratifs

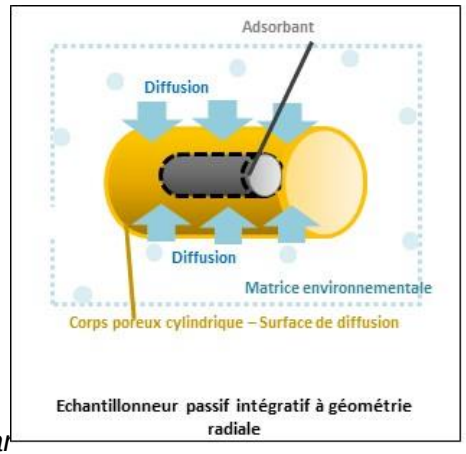
  - La diffusion, régie par le gradient de concentrations (1ère loi de Fick), migration spontanément vers des zones à plus faible concentration, pénétration à l'intérieur de l'EP
  - accumulation des substances adsorbées en continu au sein même de l'EP

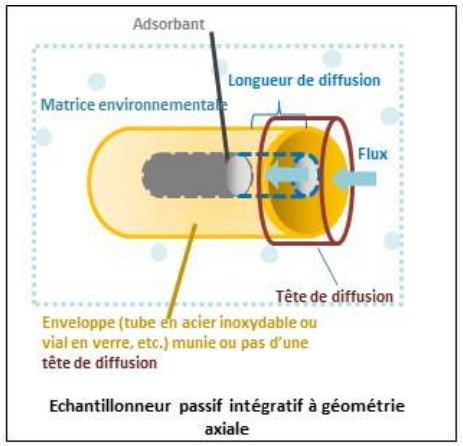


➢ Un résultat moyen sur toute la durée de prélèvement, intégrant les variations



- Principe de fonctionnement au regard de la géométrie, radiale, axiale, « mixte »





Expression des résultats, en fonction des EP

- en masse
- en masse et concentration

Connaissance du taux d'échantillonnage

- déterminé expérimentalement par le constructeur, via une série d'essais en chambre à atmosphère contrôlée, pour chaque composé chimique

$$\tau_{échantillonnage} = D_{air}\frac{A}{L}$$

Conversion des masses adsorbées en concentrations pour les gaz du sol

- cas du Besure Sampler de BEACON : pas de résultats transmis en concentration
- cas des tubes passifs Chromosorb 106 de BEACON sans tête de diffusion et Radiello® 145 avec tête de diffusion : conversion « classique »

$$C = \frac{m_{adsorbée}}{t_{exposition} \times \tau_{échantillonnage}}$$

- cas des EP de AGI : conversion

$$C_{gaz\,du\,sol} = \frac{C}{E} \quad \text{avec} \quad E = \frac{D_{eff}}{D_{air}} = \theta^{4/3}(1-\varepsilon)^{10/3}$$

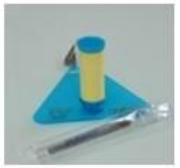
  - avec des paramètres complémentaires caractéristiques des sols, mesurés spécifiquement sur le site, ou sur une seule information lithologique avec des valeurs issues de la littérature (Johnson & Ettinger modeling equation inputs, US EPA, 2003)
  - ➢ dans ce dernier cas, ne tenir compte uniquement que des données qualitatives ou intégrer les incertitudes liées à ces choix aux résultats quantitatifs

$C_{gaz\,du\,sol}$	*concentration de la substance dans les gaz du sol (µg/m³)*
C	*concentration de la substance (µg/m3)*
E	*facteur « d'influence » du sol (Soil Effectiveness Factor) [-]*
$m_{adsorbée}$	*masse de la substance adsorbée sur le support pendant l'exposition (µg)*
$t_{exposition}$	*durée d'exposition du support passif (min)*
$T_{échantillonnage}$	*taux d'échantillonnage du composé (mL/min)*
D_{eff}	*coefficient de diffusion effectif dans le sol [L²/T]*
D_{air}	*coefficient de diffusion de la substance dans l'air air [L²/T]*
θ	*porosité totale du sol [L^3_{pores}/L^3_{sol}]*
ε	*porosité à l'eau du sol (volume d'eau/volume des pores) [L^3_{eau}/L^3_{sol}]*
A/L	*paramètres spécifiques à la géométrie de l'échantillonneur passif*

Axe 2 – Evaluation des EP dans les gaz du sol

Les échantillonneurs passifs mis en œuvre

Projet TEMPAIR

	Résultats en masse				
		Résultats en concentration			
Matrice échantillonnée	**Air intérieur et extérieur**	**Air intérieur et extérieur**	**Air intérieur et extérieur**	**Air intérieur et extérieur**	**Air intérieur et extérieur**
	Gaz du sol	**Gaz du sol**	**Gaz du sol**	**Gaz du sol**	*(Gaz du sol)*
	BeSure® Sampler (vial avec capuchon grillagé et avec adsorbants brevetés)	**SPG-0008** (membrane GoreTex® et adsorbants brevetés) **TIPS, en développement** (membrane GoreTex® et adsorbants brevetés)	**tube en inox avec adsorbant Chromosorb 106, sans tête de diffusion**	**tube en inox avec adsorbant Radiello®145, avec tête de diffusion**	 **corps diffusif avec adsorbant Radiello® 145**
Constructeur/ Fournisseurs/ Analyses	**BEACON Environnemental Service (USA)**	**Amplifeid Geochemical Imaging - AGI (USA)**	**BEACON Environnemental Service (USA)**	**conditionnement d'un tube Perkin Elmer et d'un l'adsorbant Radiello® (INERIS, développement interne)**	**Radiello®, représentants de la marque et laboratoires**

Axe 2 – Evaluation des EP dans les gaz du sol

Démarche mise en œuvre et moyens déployés – REX du projet PassSolAir

Le projet PassSolAir (co-financement ADEME/MEEM/INERIS, 2012-2015) et ses objectifs

- Évaluation des performances des différents EP, dans des conditions maîtrisées représentatives des gaz du sol, dans la chambre d'exposition en atmosphère contrôlée de l'INERIS (concentrations, température, humidité relative, ventilation maîtrisées)
- En parallèle, des prélèvements actifs ponctuels sur tube adsorbant

Performances des EP pour les gammes de concentration en PCE et durées d'exposition étudiées

- Répétabilité des prélèvements
- Des corrélations entre les concentrations d'exposition et concentrations mesurées

- Mais fonction des EP, des gammes de concentrations et des durées d'exposition
- Ecarts de concentration plus importants pour les concentrations élevées
- Des valeurs estimées pour certaines gammes de concentrations

Concentration de « référence », prél. actif avec charbon [µg/m³] (I.A.=27%)	Durée d'exposition des EP [jour]	Résultat en concentration des EP [µg/m³]					Autres conditions	
		SPG-0008 de AGI (I.A.=16%)	TIPS de AGI (en développement) (I.A.=16%)	Tube passif Chromosorb 106 de BEACON sans tête de diffusion (I.A.=4%)	Tube passif Radiello® 145 avec tête de diffusion (I.A.=30%)	Corps diffusif Radiello® 145 (I.A.=30%)	T. moy. (°C)	H. moy. (%)
53	7						10	60
52	2						10	60
114						-	20	86
5 000		X					10	70
14 000		X					10	70
40 166		X				-	12	81
612 460		X	X			-	10	70

Légende : *I.A. : incertitude analytique ; - : EP non utilisé*

concentration de l'EP au regard de la « concentration de référence » tenant compte des incertitudes analytiques

similaire	variation < facteur 5	variation > facteur 10	X : valeur estimée (masse excédant la limite supérieure de calibration)

Le projet Tempair

- *Expérimentations de 1 à 8 jours en milieu contrôlé (air)*
  - *milieu dans lequel le comportement des gaz, mieux maitrisé que dans les gaz du sol au sein d'un ouvrage temporaire ou pérenne*
  - *afin de confirmer ou infirmer les tendances observées dans les gaz du sol*

- Expérimentations de 1 à 8 jours dans les gaz du sol, réalisées dans
  - 7 piézairs captant différents horizons lithologiques (sols sableux, limoneux) à différentes profondeurs, avec différentes gammes de concentrations
  - 5 ouvrages temporaires de sub-surface au droit de 3 différentes zones, avec différentes gammes de concentrations

- Avec la réalisation de prélèvements actifs sur charbon actif
  - en parallèle pour les expérimentations dans l'air (en début, pendant et fin)
  - légèrement décalés pour les expérimentations dans les gaz du sol (avant et après)

  = « concentration de référence », car dans ces cas, faible variabilité temporelle des concentrations observées sur le site par des mesures en continu au PID

Performances des EP, pour les gammes de concentration en PCE et durées d'exposition étudiées

- Des corrélations entre les concentrations d'exposition et concentrations mesurées
- Mais fonction des EP, des gammes de concentrations et des durées d'exposition

Concentration de « référence », prél. actif avec charbon (déb. - fin des prél. des EP) [µg/m³] (I.A.=27%)	Durée d'exposition des EP [jour]	Résultat en concentration des EP [µg/m³]				
		SPG-0008 de AGI (I.A.=16%)	TIPS de AGI (en développement) (I.A.=16%)	Tube passif Chromosorb 106 de BEACON sans tête de diffusion (I.A.=4%)	Tube passif Radiello® 145 avec tête de diffusion (I.A.=30%)	Corps diffusif Radiello® 145 (I.A.=30%)
75 -	1					
75 -	2					
405 - 608	6					X
632 -	8					
4 - 6	6				-	
405 - 608						X
< 2 - < 4	8					
632 -						

Légende : *I.A. : incertitude analytique ; < X : valeur inférieure à la limite de quantification égale à X ; - : EP non utilisé*

concentration de l'EP au regard de la « concentration de référence » tenant compte des incertitudes analytiques

similaire	variation < facteur 5	variation > facteur 10	*X : valeur estimée (masse excédant la limite supérieure de calibration)*

Axe 2 – Evaluation des EP dans les gaz du sol

Expérimentations dans des piézairs

Projet TEMPAIR

Performances des EP pour les gammes de concentration en PCE et durées d'exposition étudiées

- Des corrélations entre les concentrations d'exposition et concentrations mesurées
- Mais fonction des EP, des gammes de concentrations et des durées d'exposition
- Des écarts de concentration plus importants pour les concentrations élevées et/ou longues durées d'exposition
- Des valeurs estimées pour certaines gammes de concentrations et durées d'exposition

Concentration de « référence », prél. actif avec charbon (déb. - fin des prél. des EP) [mg/m³] (I.A.=27%)	Durée d'exposition des EP [jour]	Résultat en concentration des EP [mg/m³]			
		SPG-0008 de AGI (I.A.=16%)	TIPS de AGI (en développement) (I.A.=16%)	Tube passif Chromosorb 106 de BEACON sans tête de diffusion (I.A.=4%)	Tube passif Radiello® 145 avec tête de diffusion (I.A.=30%)
104 - 130	1	X			
14 -	1				
14 - 15	2				
14 - 15	4				
9 - 14	5	X			
85 - 92	5	X	X	X	
174 - 131	5	X	X	X	
373 - 275	5	X	X	-	
0,1 - <0,03	7				-
3 - 10	7	X	X		X
59 - 49	7	X	X		X

Légende : *I.A. : incertitude analytique ; < X : valeur inférieure à la limite de quantification égale à X ; - : EP non utilisé*

concentration de l'EP au regard de la « concentration de référence » tenant compte des incertitudes analytiques

similaire	variation < facteur 5	variation > facteur 10	X : valeur estimée (masse excédant la limite supérieure de calibration)

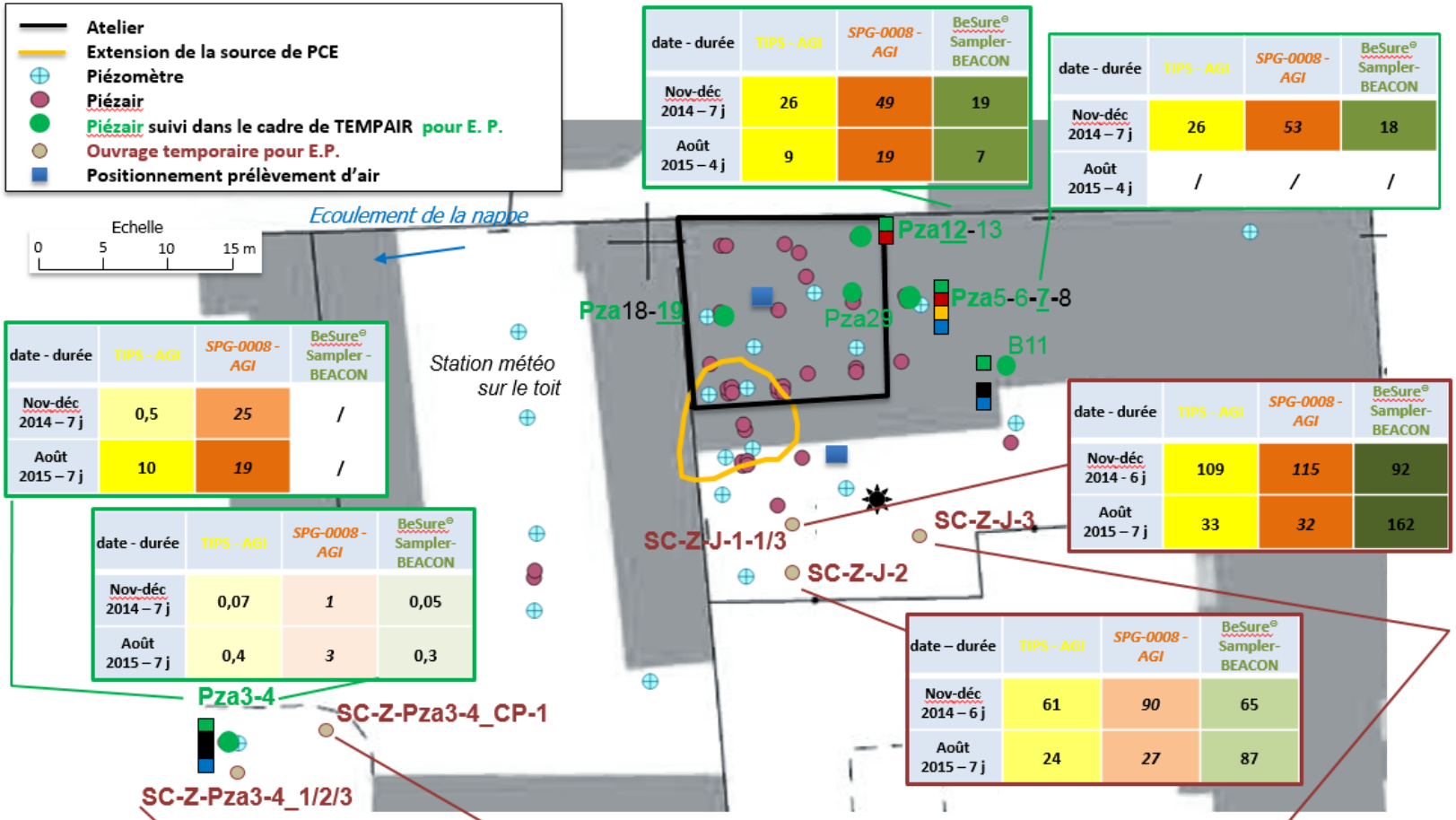
Axe 2 – Evaluation des EP dans les gaz du sol

Etude de screening – cartographie en masse

Projet TEMPAIR

Cartographie en masse (µg) du PCE prélevé dans des ouvrages temporaires de sub-surface et dans des piézairs

- **Des résultats en masse cohérents en termes de zonation**



date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	26	49	19
Août 2015 – 4 j	9	19	7

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	26	53	18
Août 2015 – 4 j	/	/	/

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	0,5	25	/
Août 2015 – 7 j	10	19	/

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 - 6 j	109	115	92
Août 2015 – 7 j	33	32	162

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	0,07	1	0,05
Août 2015 – 7 j	0,4	3	0,3

date – durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 6 j	61	90	65
Août 2015 – 7 j	24	27	87

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	0,1	0,8	0,02
Août 2015 – 7 j	0,1	0,8	0,06

date – durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 7 j	0,02	0,2	0,06
Août 2015 – 7 j	0,2	1	/

date - durée	TIPS - AGI	SPG-0008 - AGI	BeSure Sampler - BEACON
Nov-déc 2014 – 6 j	43	57	27
Août 2015 – 7 j	21	25	27

Intérêts

- Mise en œuvre simple, absence d'apport d'énergie
- En présence de sols peu perméables (situation problématique pour un prélèvement actif)
- Pour des durées d'exposition plus longues tenant compte de certaines gammes de masses/concentrations
- Pour des études de screening
- Pour certains EP
  - absence de contrainte liée à l'humidité : présence d'une membrane poreuse hydrophobe, d'adsorbants hydrophobes
  - absence de conditions particulières lors du conditionnement et du transport (ni au froid, ni à l'abri de la lumière)

Limites

- Pour certains EP
  - fournitures et analyses uniquement au USA

  - questionnement sur le choix des durées d'exposition au regard des concentrations attendues, taux d'échantillonnage et capacité de l'adsorbant pour éviter la saturation
  - faible REX pour les longues durées d'exposition en présence de concentrations élevées

    - ➢ des échanges nécessaires avec les fabricants
  - faible REX pour l'utilisation dans des piézairs et des ouvrages temporaires pour la conversion des masses adsorbées en concentrations

Dimensionnement des investigations et choix de l'échantillonneur passif et de sa durée d'exposition, fonction

- du contexte de l'étude
- des objectifs des investigations dans le temps (diagnostic, évaluation des expositions, etc.) / des objectifs de l'étude dans l'espace (screening des gaz du sol)
- données qualitatives, données quantitatives
- des substances à étudier
- des gammes de contamination attendues
- des LD/LQ souhaitées
- de la connaissance nécessaire pour les EP de AGI de certains paramètres du sol

➢ **Des caractéristiques de l'échantillonneur passif (géométrie, nature de l'adsorbant, gamme de capacité de l'EP, taux d'échantillonnage…)**

Sampler Type	Uptake Rate	Sampling Duration	Analytical Sensitivity	Target Compounds
Tube (Axial)	Lower	Longer	Lower	Depends on the selected sorbent
Tube (permeation)				VOCs & SVOCs
~~Badge (Axial)~~				
Radial	Higher	Shorter	Higher	

(NAVFAC, 2015)

Poursuivre des travaux de R&D

- Plus particulièrement en termes de quantification des concentrations pour les gaz du sol dans les ouvrages pérennes et temporaires
  - S'inspirant notamment d'expérimentations réalisées en «chambre contrôlée» et dans l'air intérieur et extérieur, milieu de mesure *a priori* moins complexe que les gaz du sol prélevés dans des ouvrages temporaires ou pérennes
  - Approfondissement sur l'étape de la conversion en concentration des résultats en masse
  - Intégration de l'influence des caractéristiques du piézair (présence d'un volume d'air au sein de l'ouvrage entre les sols adjacents et l'EP)
- Mise en œuvre d'essais complémentaires afin de consolider un retour d'expérience plus conséquent
  - Principalement en termes de durées d'exposition et de gammes de concentrations
  - Autres substances que le PCE : BTEX, fractions TPH, autres COHV

➢ Des recommandations pour l'utilisation des EP dans différents contextes d'études

Contexte

- Compétition d'adsorption étudiée vis-à-vis de la capacité totale d'adsorption et peu sur la compétition avant saturation des supports
- Recommandations de la future norme et futur guide INERIS-BRGM en lien avec l'humidité relative élevée des gaz du sol

➢ **Quel intérêt (et limites) de l'emploi de filtres anti-humidité ?**

Méthode

- Confrontation de mesures avec et sans filtre pour les prélèvements actifs sur charbon actif (extraction CS_2 et analyse GC-MS)
  - Filtres testés :
    - RAE Humidity Filtering II (agent non connu, calcium chloride?)
    - SKC 226-44 (sulfate de sodium anhydrite)
  - Pollution : PCE (88 à 99%) & TCE (<12%)

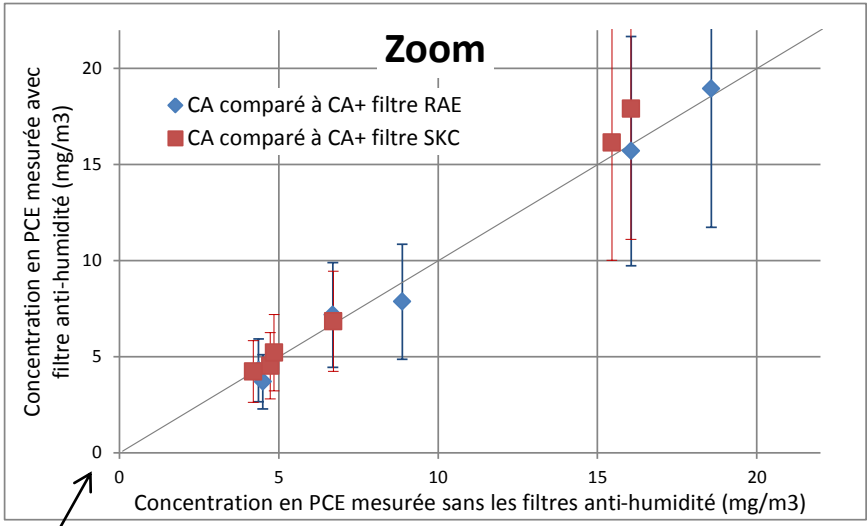
Expérimentations

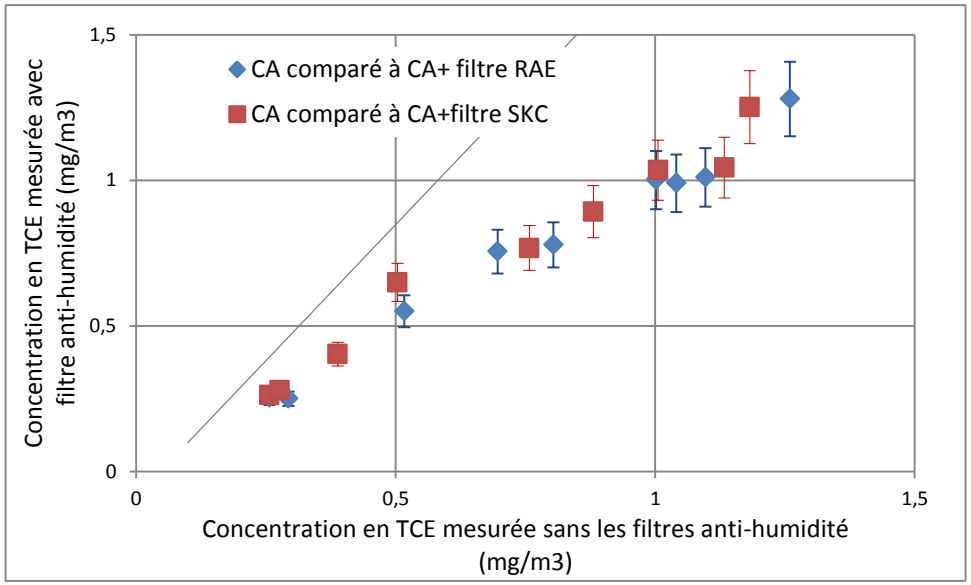
	Février 2015				Aout 2015				Octobre 2015			
	C(PCE) mg/m³	Volume pompé (l)	HR (%)	T (°C)	C(PCE) mg/m³	Volume pompé (l)	HR (%)	T (°C)	C(PCE) mg/m³	Volume pompé (l)	HR (%)	T (°C)
Remblais sableux	# 4	3	98%	6	# 16	3	100%	23	# 6	21	>97%	13
Limons	# 4	3	96%	6	# 18	3	100%	23	# 8	13	>99%	13
Sables	# 240	3	96%	6	# 120	3	88-93%	22	# 210	15	100%	13

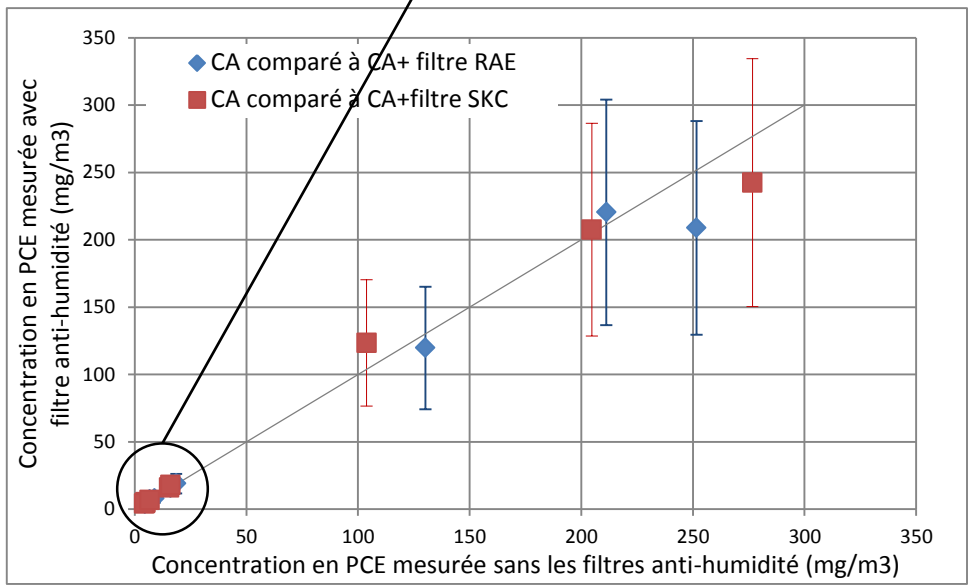
Comparaisons : Mesures avec filtres RAE ou SKC /r à celles sans (C_{harbon} A_{ctif} seul)

- PCE : écarts de -18 à +19%
- TCE : écarts de -14 à +29%
- Ecarts sans lien apparent avec la période, l'humidité, la température ou la lithologie

Ecarts modérés à faibles au regard des incertitudes sur les analyses
(PCE +/- 38% et TCE +/-10%)







Conclusions

- l'utilisation de filtre anti-humidité pour les prélèvements de gaz du sol en PCE et TCE pour des volumes de prélèvement compris entre 3 et 20 litres, débits de 0.1 à 0.4 l/min et dans les gammes de concentrations testées (3<<250 mg/m^3 et 0,2<<1,3 mg/m^3) **ne présente pas d'intérêt significatif**.

Recommandations dans les contextes d'humidité élevée dans les gaz du sol

- **Limiter la compétition** d'adsorption entre la vapeur d'eau et les polluants ciblés :
  -> limiter les masses de polluants à adsorber (modulo les objectifs des mesures),
  -> pré-caractériser à l'aide d'un PID lors de la purge pour adapter les volumes à prélever et les supports adsorbants,
- Conduire une analyse sur la zone de contrôle des supports adsorbants pour **valider la représentativité** du prélèvement du point de vue de l'échantillonnage.

Perspectives

- Conduire de tels travaux pour d'autres typologies de pollution (en particulier les mélanges) et d'autres gammes de concentrations.

Merci de votre attention

Vos questions

Sylvie TRAVERSE
s.traverse@burgeap.fr

Corinne HULOT
corinne.hulot@ineris.fr