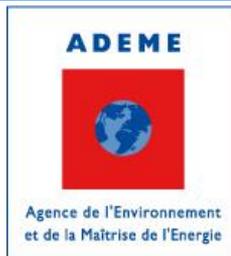


Journées techniques
28 et 29 mai 2013

Gestion des sites et sols
pollués



Les substances volatiles : caractérisation, modélisation des transferts, surveillance

Retour d'expérience des projets CITYCHLOR, FLUXOBAT et ATTENA

Mesure et interprétation des perméabilités de sol et des flux vers l'air intérieur à l'échelle d'un site atelier

Sylvie TRAVERSE, Direction Recherche et développement BURGEAP



> Pourquoi

- La perméabilité des sols sous bâtiment est un paramètre essentiel à l'estimation des transferts vers l'air intérieur et au dimensionnement des mesures de gestion

> Comment

- En laboratoire (K-eau) : mesure sur des carottes de sol et interprétations granulométriques
- In situ (Kgaz) : essais de pompage limités généralement au dimensionnement de venting
- bibliographie

$$k_i = \frac{K_s \mu_w}{\rho_w g}$$

TABLE 5. CLASS AVERAGE VALUES OF SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY FOR THE 12 SCS SOIL TEXTURAL CLASSIFICATIONS

Soil texture , USDA	Class average saturated hydraulic conductivity, cm/h
Sand	26.78
Loamy sand	4.38
Sandy loam	1.60
Sandy clay loam	0.55
Sandy clay	0.47
Loam	0.50
Clay loam	0.34
Silt loam	0.76
Clay	0.61
Silty clay loam	0.46
Silt	1.82
Silty clay	0.40

EPA, 2004

Méthodes pour la mesure in situ

> Méthodes testées sur le site atelier

- Pompage en un puits et mesure de la dépression sur des piez-air dans le rayon d'influence en régime transitoire ou permanent (méthode 1)
- Pompage et mesure de la dépression sur un même ouvrage en régime permanent (méthode 2)

> Références

- Méthode 1

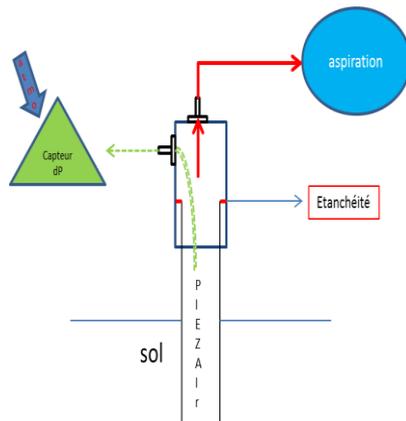
Protocoles et interprétations reconnus
(EPA 1991, Suthersan 1999, ...)

- Méthode 2

Plusieurs guides des Etats Unis sur la thématique de l'intrusion de vapeur recommandent la mise en œuvre de ces essais (DTSC,2011)

> Essais en régime permanent

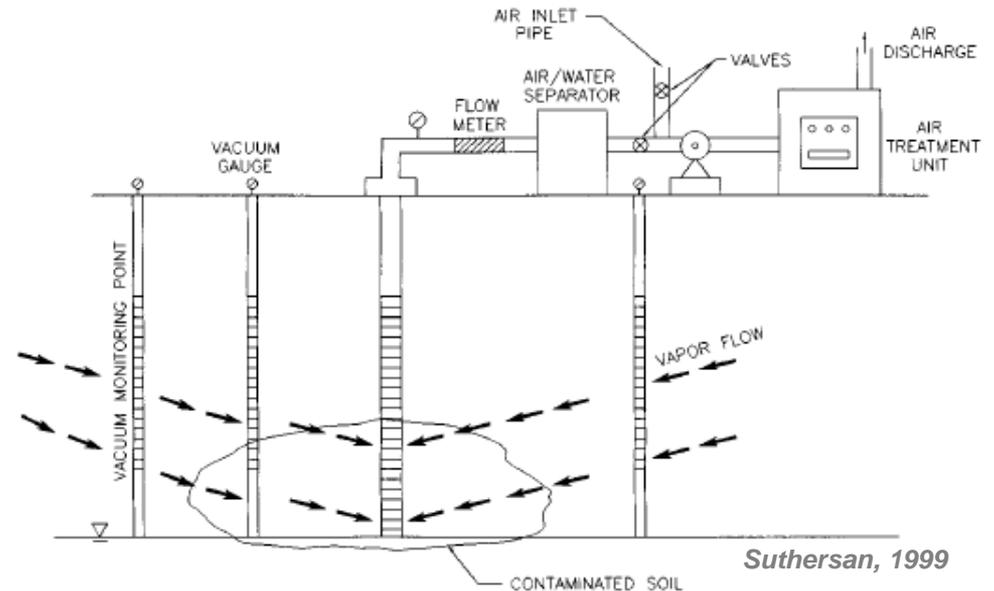
- Mesure des dépressions à distance du puits de pompage (Remblais, limons et sables) pour des débits de 20 à 30 m³/h
- Mesure des dépressions sur le piez-air en pompage pour des débits de 0,03 à 0,3 m³/h



Interprétation des dépressions – méthode 1

> Méthode 1

- 5 essais
- Rayons d'actions faibles (<3m) donc peu de points de mesures exploitables possible

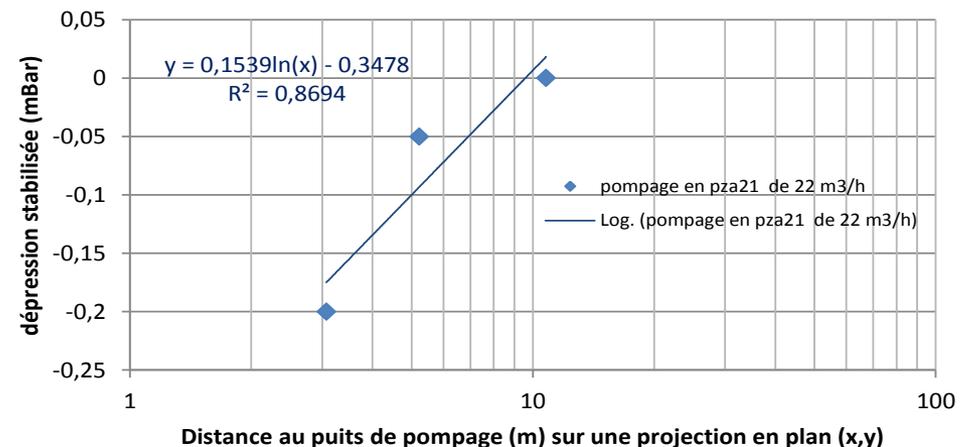


$$s = \frac{246Q}{T} \log \left[\frac{2.246Tt}{r^2S} \right],$$

- s = drawdown in feet of air
 T = gas transmissivity in ft²/day (= $K_g b$)
 Q = flow rate in cfm
 t = extraction time in days
 r = distance from center of well in feet
 S = storage coefficient
 $W(u)$ = Theis well function of u
 b = vadose zone thickness in feet

$$s = 528Q \cdot \log \left(\frac{R}{r} \right) \quad R = \sqrt{\frac{2.246Tt}{S}}$$

Essai de pompage pour détermination Kx sables



Interprétation des dépressions –méthode 2

> Méthode 2

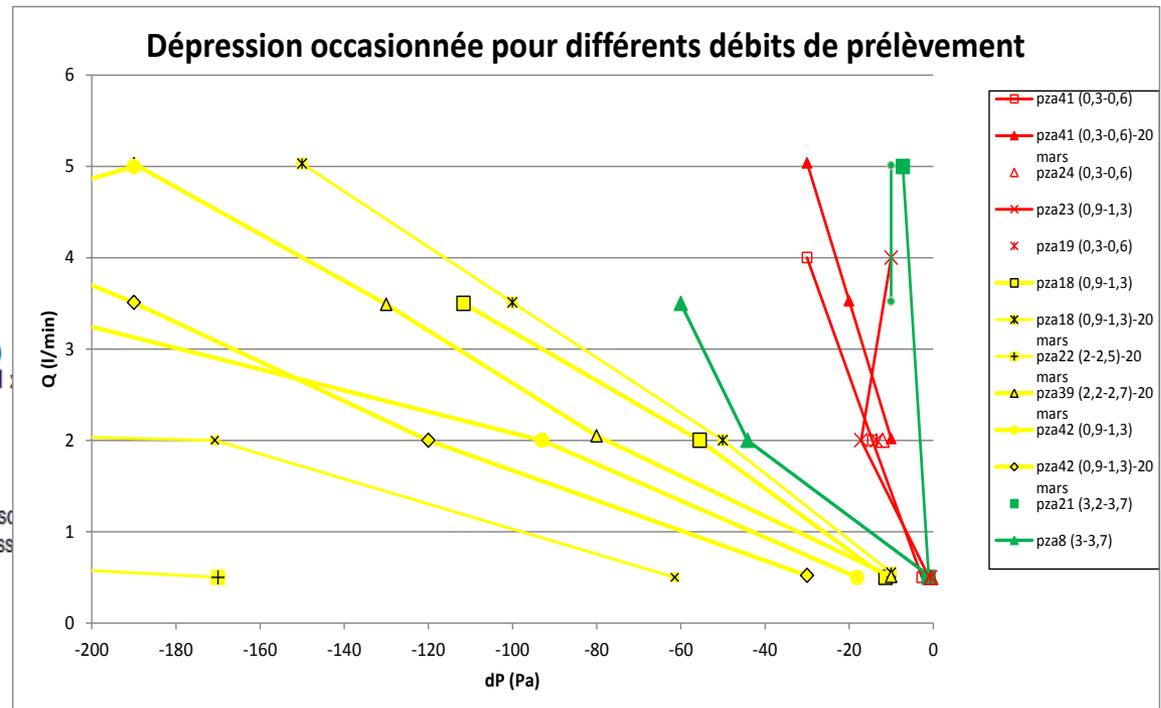
- 16 ouvrages testés, 60 essais réalisés
- stabilisation rapide des dépressions
- Réponses cohérentes $Q=f(dP)$

$$k = Q_{sc} \frac{\mu \ln(L/r_w) T_{psc} Z}{\pi L (p^2 - p_0^2) T_{sc}}$$

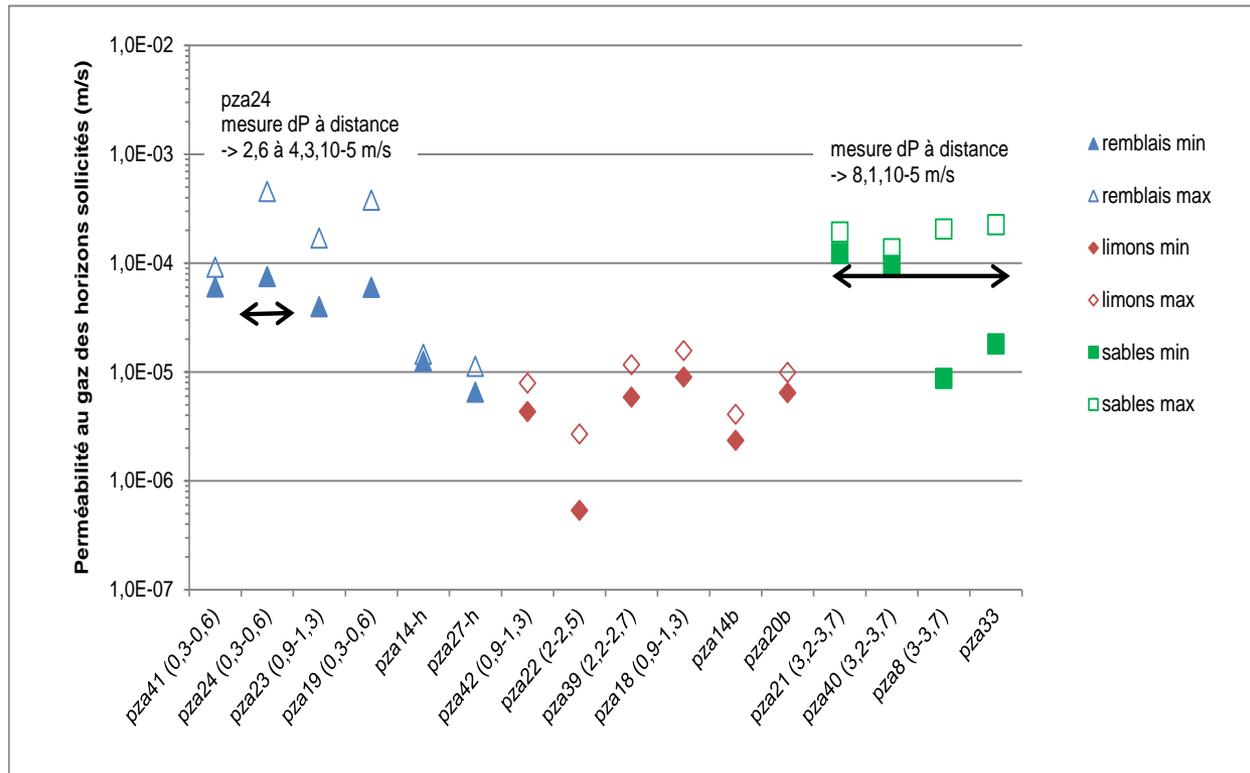
where,

k = air permeability (m^2)
 Q_{sc} = volumetric airflow rate at standard conditions (m^3/s)
 μ = dynamic viscosity of air at standard conditions ($1.81 \times 10^{-4} Pa \cdot s$)
 \ln = natural logarithm operator
 L = length of the well screen (m)
 r_w = borehole radius (m)
 T = air temperature in the test interval ($^{\circ} Kelvin$)
 p_{sc} = air pressure at standard conditions ($1.013 \times 10^5 Pascals$)
 Z = air compressibility factor (assume 1.0 [dimensionless])
 π = pi (3.1416)
 p = air pressure in the injection interval (Pascals)
 p_0 = ambient air pressure during injection (Pascals)
 T_{sc} = temperature at standard conditions ($273^{\circ} Kelvin$)

DTSC, 2011



Comparaison des deux méthodes



- Hétérogénéités d'un ordre de grandeur au sein d'un horizon
- Résultats comparables dans les sables
- Dans les remblais une possible sur-estimation par la méthode 2 (liée à des défauts d'étanchéités?)

Mesures de perméabilité in situ - conclusions

> Intérêts de la mesure in situ

- Mesure d'un paramètre majeur (interprétation, modélisation, dimensionnement des mesures de gestion)

	avantages	inconvénients
Méthode 1 Essai de pompage	- intégration spatiale - effets de puits négligeables	- matériel nécessaire plus lourd
Méthode 2 essai de puits	- rapidité des essais - matériel nécessaire moins lourd	- effets de puits possibles -étanchéité délicate

> Points d'attention

- Bonne étanchéité des ouvrages et des piquages
- Mesures sur des sols nus :
 - a) variations temporelles du fait de l'évolution du profil de saturation en eau
 - b) possible alimentation depuis l'atmosphère

> Recommandation

- À mettre en œuvre sur les sites bâtis a minima

> Objectifs

- Discrimination des zones de transfert vers l'air
- Aide à l'interprétation des mesures dans l'air et au dimensionnement de mesures de gestion
- Calage des modélisations des transferts

> Différentes géométries et méthodes

- Chambre à flux dynamique
- Chambre à flux statique



> Protocoles existants (chambres statiques)

- EPA, 1985
- MF M60-678
- Jellali, 2000

Stratégie d'échantillonnage

> Objectif d'estimation des transferts

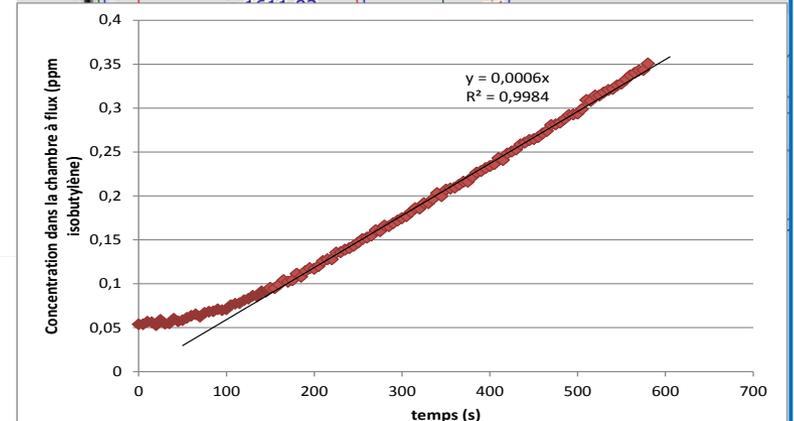
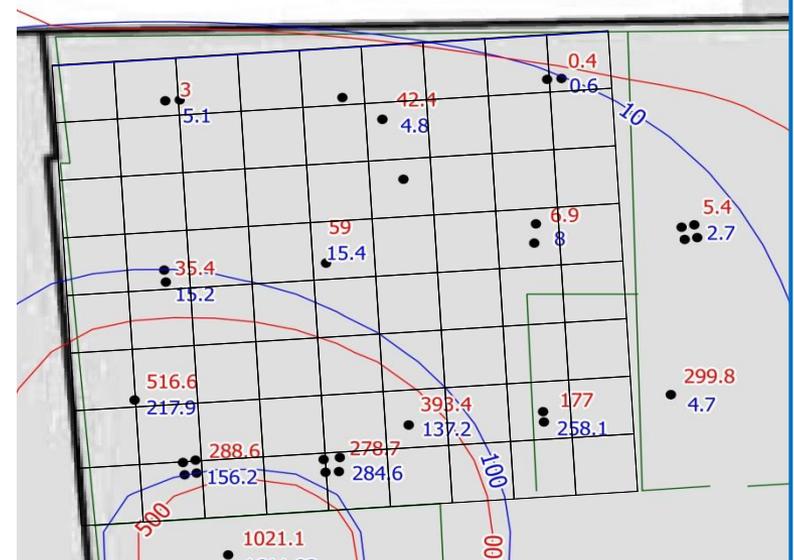
> Plan d'échantillonnage

- cartographie des conc° sous dalle
- Identification des fissures
- Maillage de 1,5*1,5
- Soit 72 mesures (1 journée)

> Méthode et fréquence

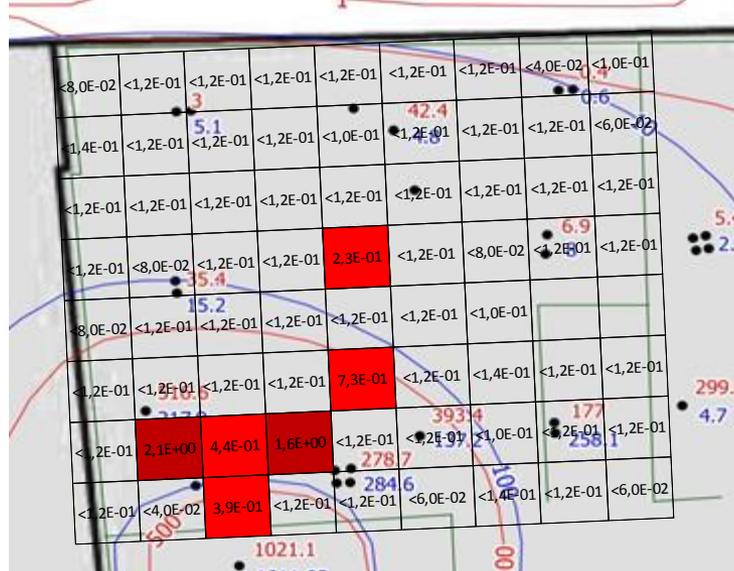
- Mesures au PID en recirculation (5 à 15 minutes par point)
- Débit 0,5 l/min
- Absence d'isolation en pourtour
- 2 Période de mesures en situation contrastées le jour suivant les mesures dans l'air intérieur

Isoconcentrations en PCE (m/m³) modélisés (0,3-0,6 m sous dalle)
Rouge – profil humide
Bleu – profil sec

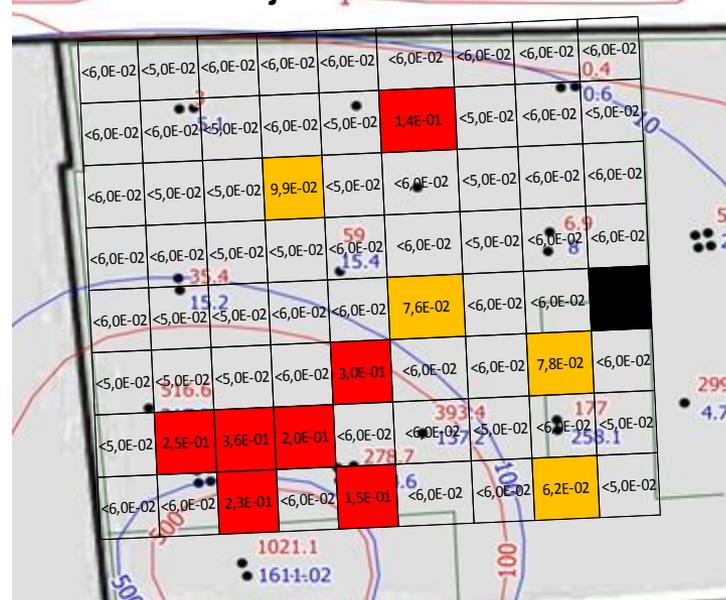


Flux mesurés en mars & juin 2012

Mars 2012



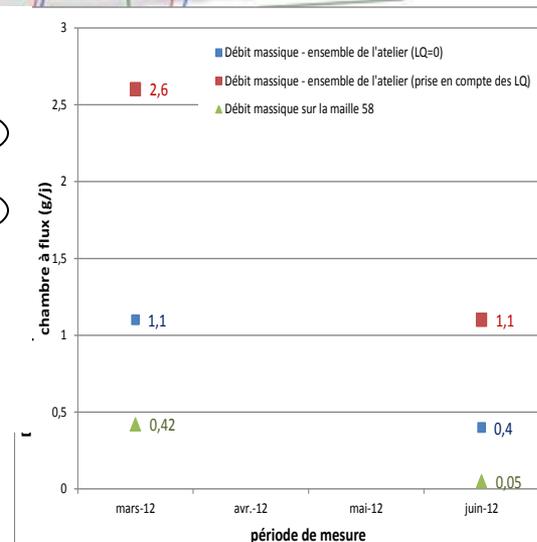
juin 2012



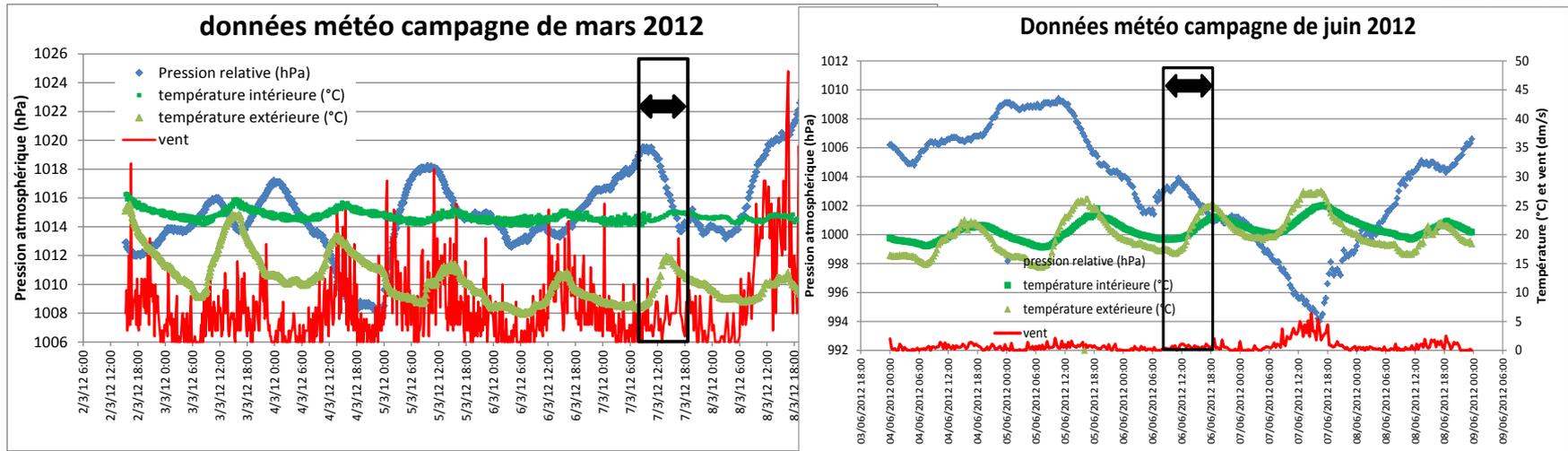
> Situations contrastées par maille

- Mars 2012 $<0,12$ à $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ - $\Sigma(g/j) = 1,1-2,6$
- Juin 2012 $<0,06$ à $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ - $\Sigma(g/j) = 0,4-1,1$
- Ecart entre saison * 1,2 à *10 (Σ *2,4)

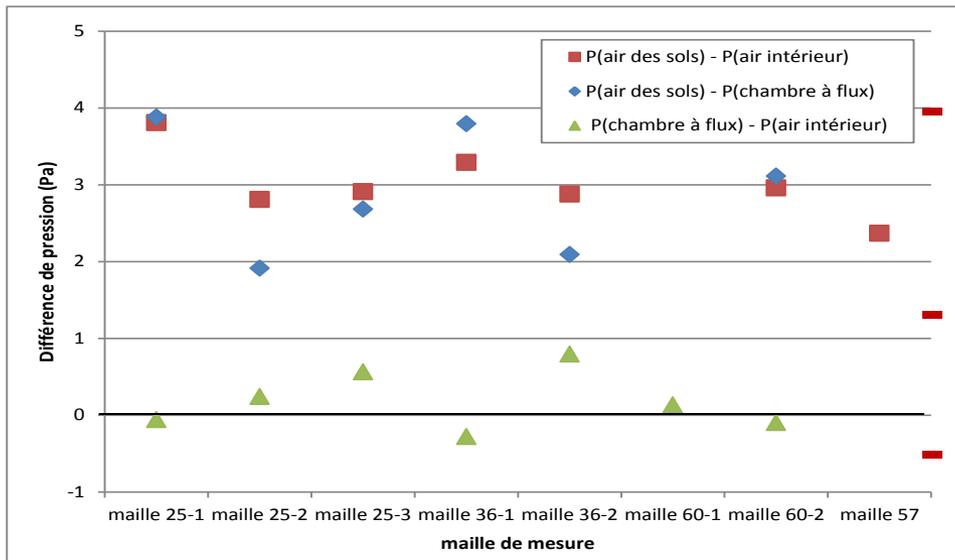
> Mise en évidence des hétérogénéités de la dalle



Influence des conditions atmosphériques



➤ Vérification de la nature du flux mesuré



- Mesure des dépressions Bâtiment – chambre – air des sols
- Pression dans la chambre proche de celle dans le bâtiment
- Flux mesuré intégrant une part convective

Intérêts et limites des mesures de flux

> Intérêts

- Complémentarité forte avec les mesures de concentrations (aide à l'établissement du lien de causalité)
- Mesure des flux effectifs vers l'atmosphère et l'air intérieur
- Mesure non intrusive et rapide permettant de cartographier les zones d'impact en surface (screening)

> Limites

- Forte sensibilité aux conditions météorologiques
- En intérieur les passages préférentiels tels que les fissures de retrait ou passages de canalisation ne peuvent être mesurés

> Points d'attention

- Définition d'une stratégie au préalable (période, méthode, nombre,...)
- Nécessité de connaître les paramètres météorologiques

Mesures in situ de la perméabilité au gaz des sols et mesures de flux à l'interface dalle -air

Merci de votre attention