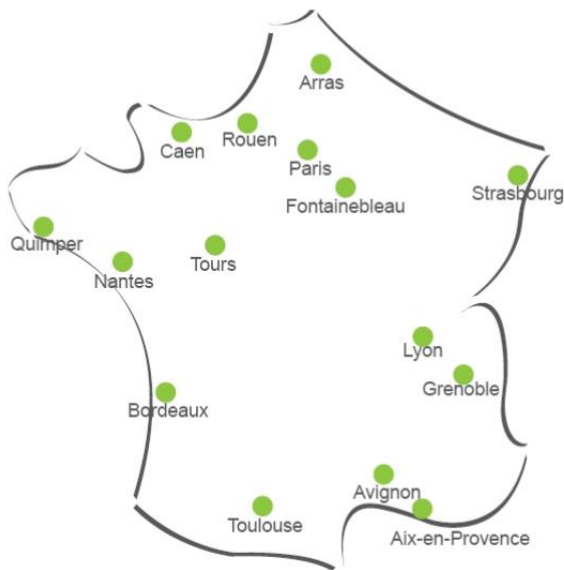




Transfert et impact des pollutions volatiles du sol vers l'air intérieur

BURGEAP Formations



Eau, Energie, Ville et Territoire



Environnement Industriel



Santé Publique



Nucléaire et Déconstruction



BURGEAP : organisme de formation

Une équipe dédiée d'une dizaine d'ingénieurs/docteurs

4 THÉMATIQUES

- sites et sols pollués
- gestion des ressources en eau
- qualité de l'air intérieur
- énergie-climat & aménagement du territoire

RÉSULTATS

- méthodologies
- logiciels de calcul
- outils de mesure

CO-FINANCEURS



RETROUVEZ NOS LOGICIELS SUR NOTRE SITE INTERNET
■ ÉQUITÉE ■ ORÉOS ■ SAMBBA ■ CUBICM ■ SIMUSCOPP

20 PROJETS EN COURS

PLUS DE 80 PARTENAIRES

+ 150
ARTICLES,
PUBLICATIONS,
PARTICIPATIONS AUX
COLLOQUES



Programme de la matinée

- Partie 1 – Contexte et introduction
 - Les COV, l'enjeu QAI et les transferts
 - Panel des outils
- Partie 2 – Des diagnostics à leur interprétation
 - Diagnostics de concentration dans les gaz du sol et l'air intérieur
 - Modélisation des transferts
- Partie 3 – Pause – temps décharge
- Partie 4 – Mesures de gestion (hors dépollution)
 - Modes de gestion, critères et acteurs
 - Efficacité
 - Etudes de faisabilité
 - Enjeux et bonnes pratiques

Contexte et introduction

Les COV : définition - polluants

- COV = composés organiques volatils

Pression de vapeur saturante, $P_{vap} > 0,01 \text{ kPa}$

- **Organo-halogénés Volatils** (aliphatiques et aromatiques chlorés, bromés ou fluorés)
- **Hydrocarbures mono-aromatiques** (BTEX étendus), **poly-aromatiques** (HAP légers, naphtalène principalement) et **hydrocarbures aliphatiques** (alcane, alcènes, alcynes, cycliques)
- **Hydrocarbures substitués** (phénols, chlorophénols, crésols, aldéhydes et cétones ...)

- Polluants organiques : les Volatils / les non ou peu Volatils

- Solvants = chlorés, BTEX, alcanes, white spirit, diluant de peinture ...
- Essences = super, sans Pb, diesel, kérosène, jet fuel ...
- Combustibles = fioul domestique, pétrole lampant ...
- Huiles : hydrauliques, de coupe, moteur, isolante ... Hydrocarbures ($nC > 12$)
- Goudrons, créosotes ...
- HC oxygénés : glycols, alcools, phénols, cétones, aldéhydes, additifs de carburants (MTBE/ETBE) ...
- PCB, pesticides, explosifs et autres (dioxines, CS_2 , dioxane ...)

Contexte et introduction

Les COV : caractéristiques

- **Caractéristiques**

- Solubles -> transfert à la nappe
- Volatils -> transfert aux gaz des sols / air intérieur
- Partition sur sols -> sorption sur sols et poussières
- (bio)-dégradables -> destruction ou séquentielle : production de sous-produits plus gênants ?

- **Toxicité**

- Un grand nombre sont Irritants / nocifs / toxiques
- Certains sont Cancérigènes / mutagènes / reprotoxiques

Benzène (UE : C1A, M1B, CIRC : 1, EPA: A),

TCE (UE : C1B, M2, CIRC : 1, EPA: A), **CV** (UE : C1A, CIRC : 1, EPA: A), **PCE** (UE : C2, CIRC : 2A, EPA: B1)

...

Contexte et introduction

Enjeu de la qualité de l'air intérieur

- Air intérieur et santé
 - Plus de 80 % du temps passé par l'homme dans des environnements intérieurs
 - Bâtiments de plus en plus étanches
 - Préoccupation ciblée qualité de l'air intérieur montante depuis les années 2000
- En France
 - Création de l'observatoire OQAI (2001),
 - Publication de valeurs guides / valeurs repères (ANSES, HCSP),
 - Décret de surveillance QAI des Etablissements Recevant du Public (2012),
 - Décret sur l'étiquetage des matériaux de construction (2012),
 - Publication de guides « bâtir sain » (INVS, ANSES, 2013)
 -

Contexte et introduction

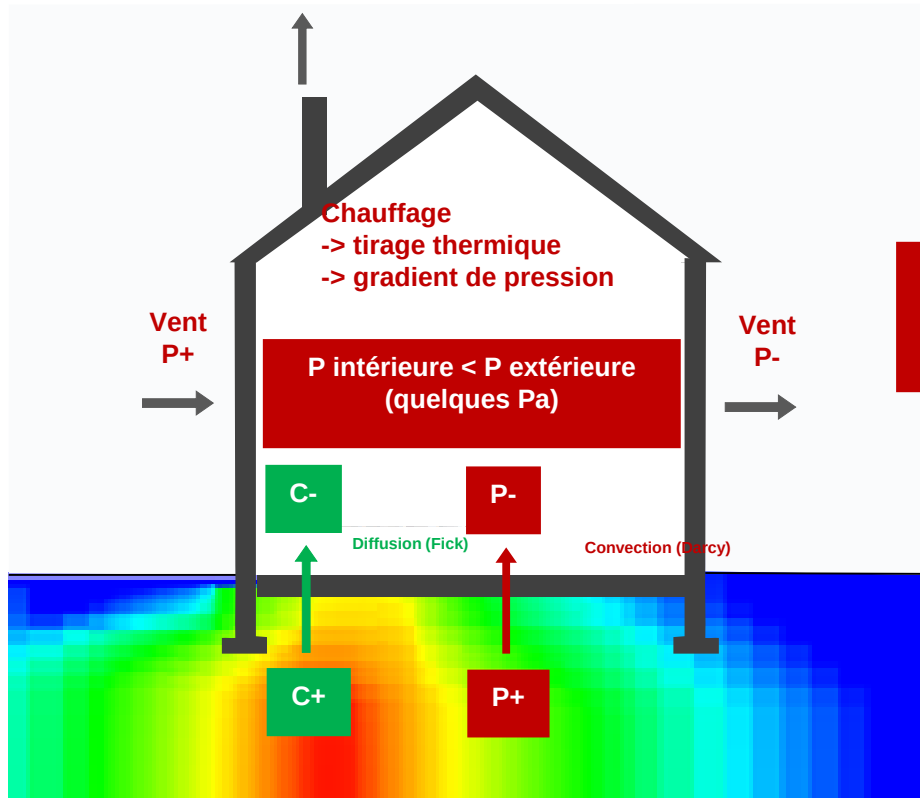
Enjeu de la qualité de l'air intérieur

- Air intérieur et pollution des sols
 - Densification / requalification des espaces
 - Prise en compte progressive des impacts potentiels liée à l'évolution des connaissances
 - Evolution des méthodologies pour la reconversion des sites à passif environnemental
- En France
 - Jusqu'en 1997, les méthodologies ne prenaient pas (ESR) ou de manière limitée (EDR) les transferts de COV des sols vers l'air intérieur
 - Depuis les années 2000, les guides méthodologiques évoluent : prise en compte proportionnée aux connaissances
 - Pas de valeurs seuils pour les sols et les gaz du sol -> gestions spécifiques

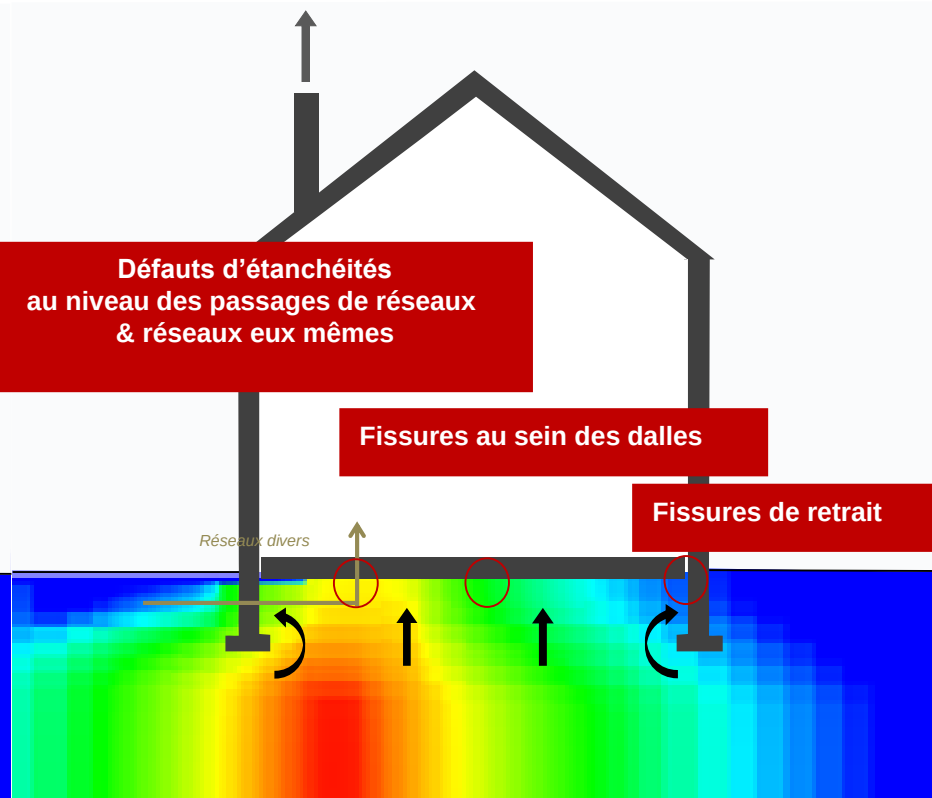
Contexte et introduction

Transferts des COV vers l'air intérieur

Raisons des transferts ?



Localisation ?



Contexte et introduction

Les outils de diagnostic

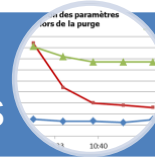
Carottage sous
gaine, profils PID
et
conditionnement
méthanol

Sols



Piézomètres (x,y,(z))
prélèvements
dissous et φ
→ composition, densité,
viscosité

φ et eaux
souterraines



Piézairs (x,y,z) /
sous dalles et
mesures et
prélèvements
actifs, passifs

Gaz du sol



Sur sol nu/ sur
dalle /
mode diffusif /
convectif

Flux



Mesures et
prélèvements
actifs, passifs

Air intérieur

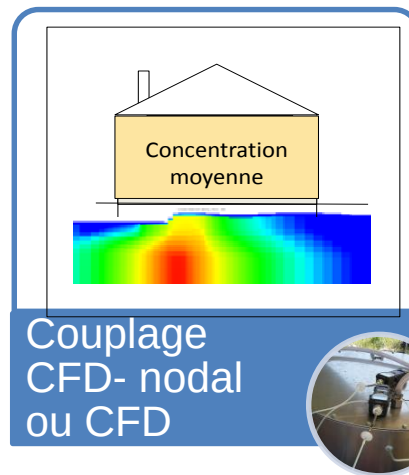
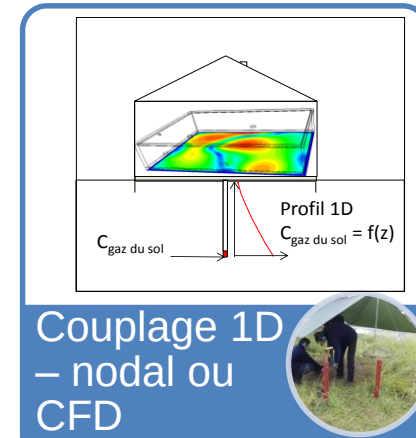
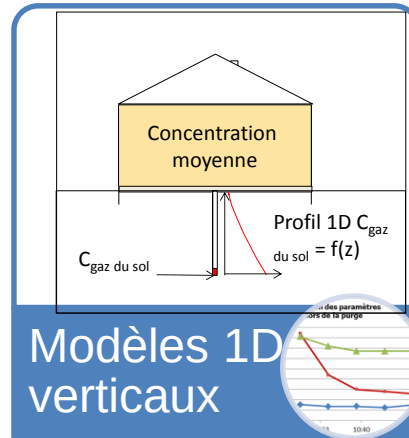
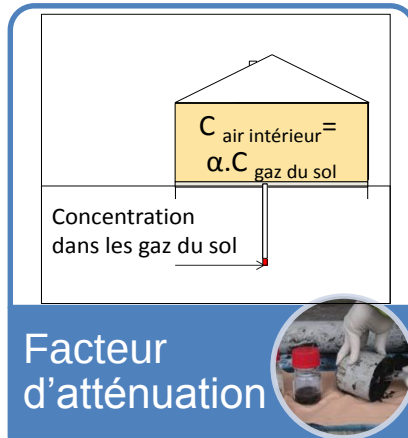


**Choix, dimensionnement comme interprétation nécessitent
une compréhension physique des phénomènes**



Contexte et introduction

Les outils de modélisation



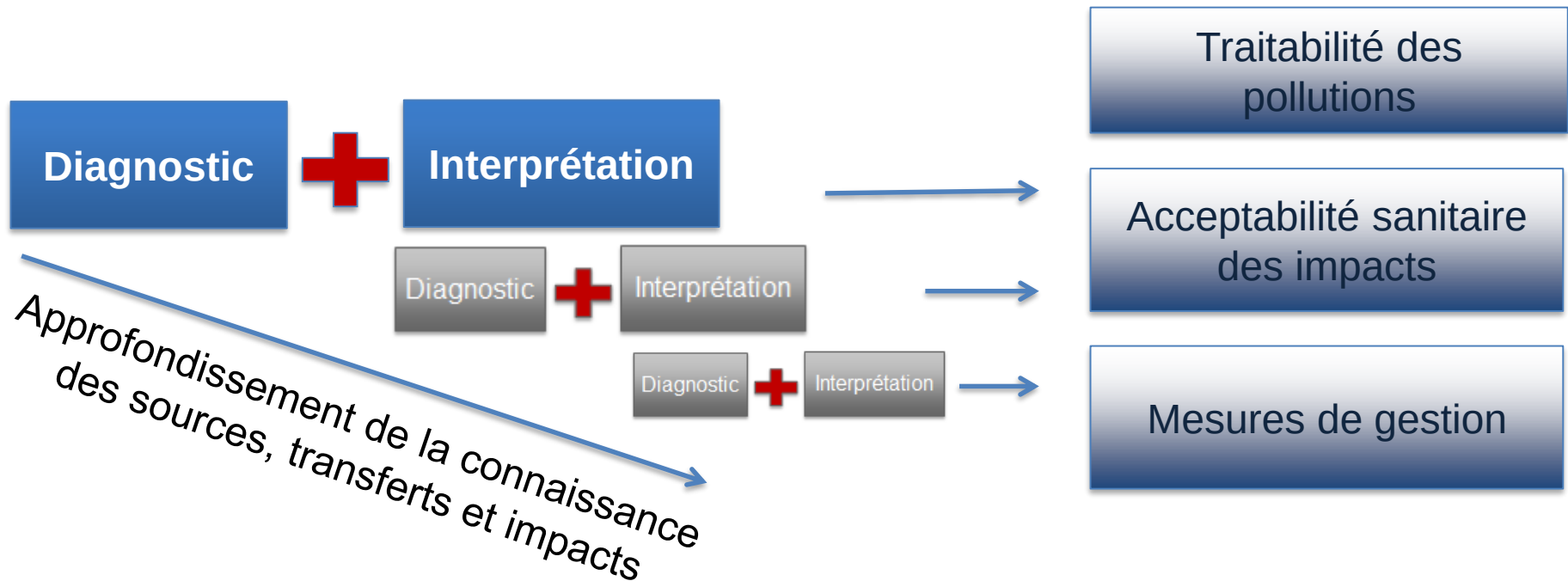
Choix dépendant de l'objectif, l'enjeu et la connaissance du site et bâtiment

Contexte et introduction

Les outils d'interprétation

Le diagnostic et la modélisation ne sont pas une fin en soi

Interprétations en lien avec un ou des **objectifs**



Des diagnostics à leur interprétation

Plan

Temps 1 : Diagnostic de concentration dans les gaz du sol et l'air intérieur

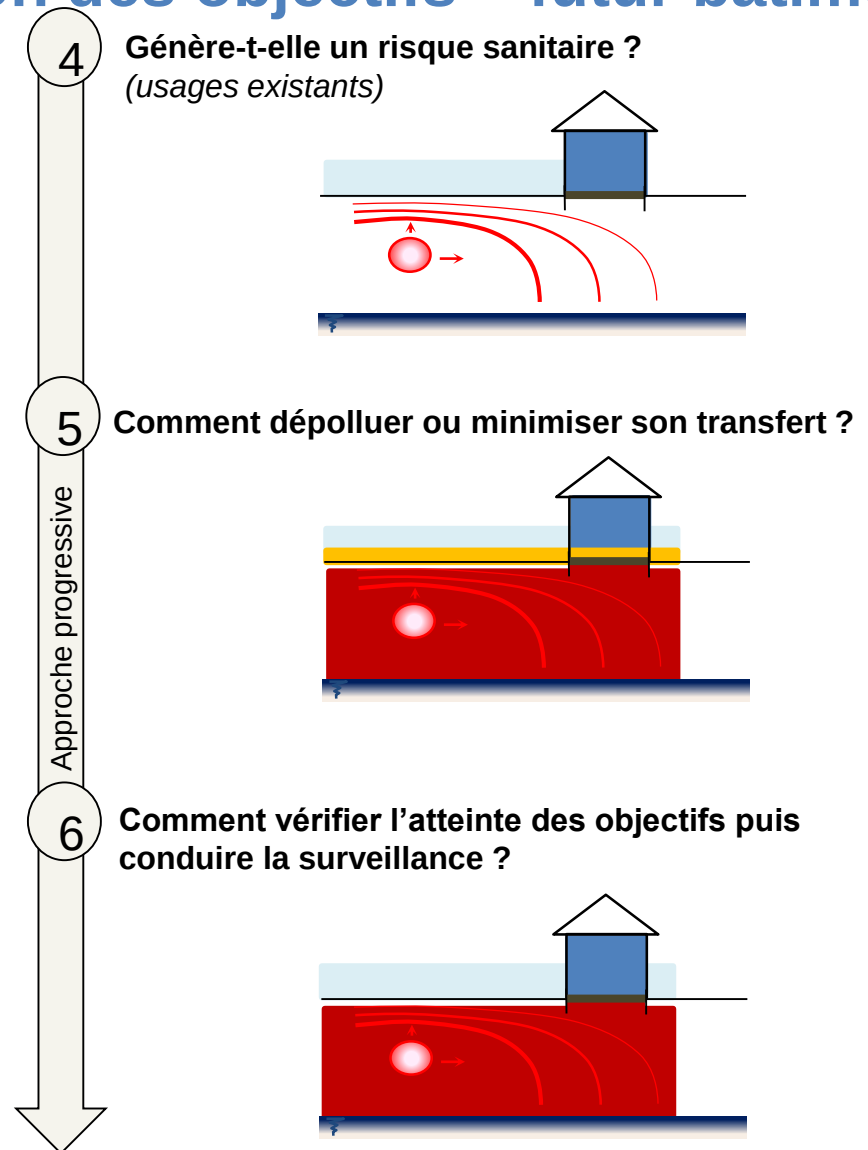
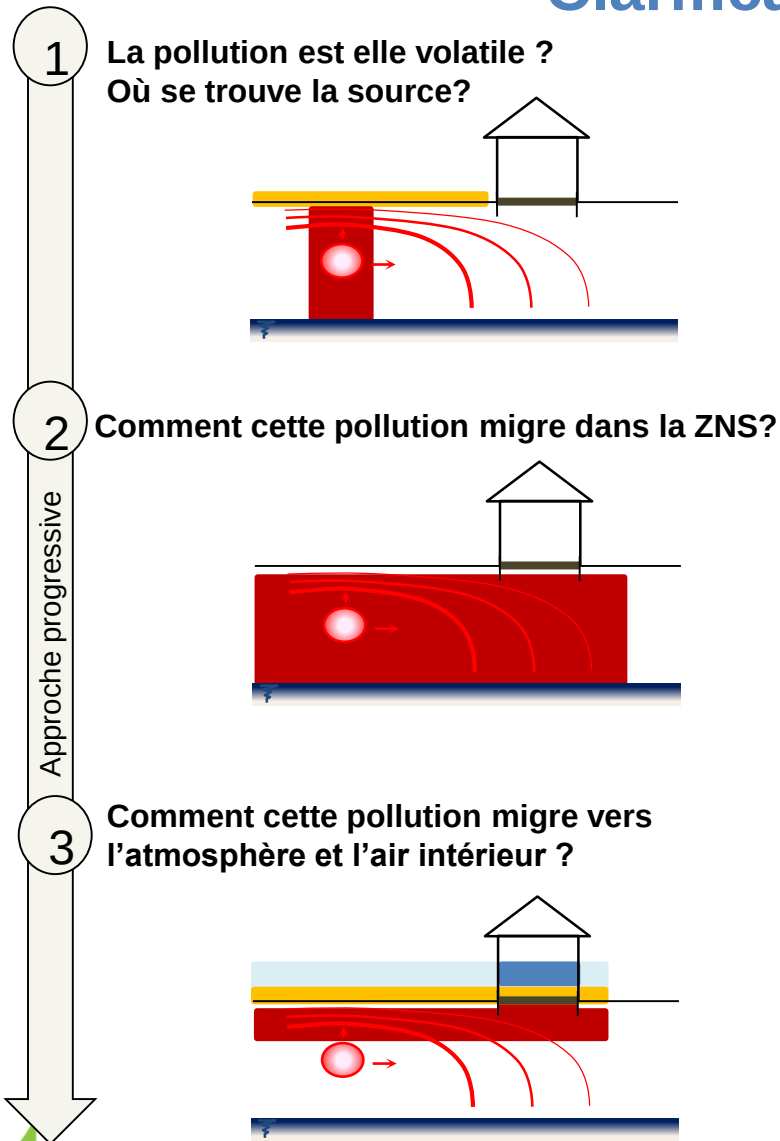
- La conduite des diagnostics
- Facteurs d'influences et physique
- Représentativité temporelle et spatiale
- Interprétation et critères d'action

Temps 2 : Modélisation des transferts

- Paramètres gouvernant les transferts
- Les différents modèles
- Avantages et limites des modèles analytiques

Les diagnostics

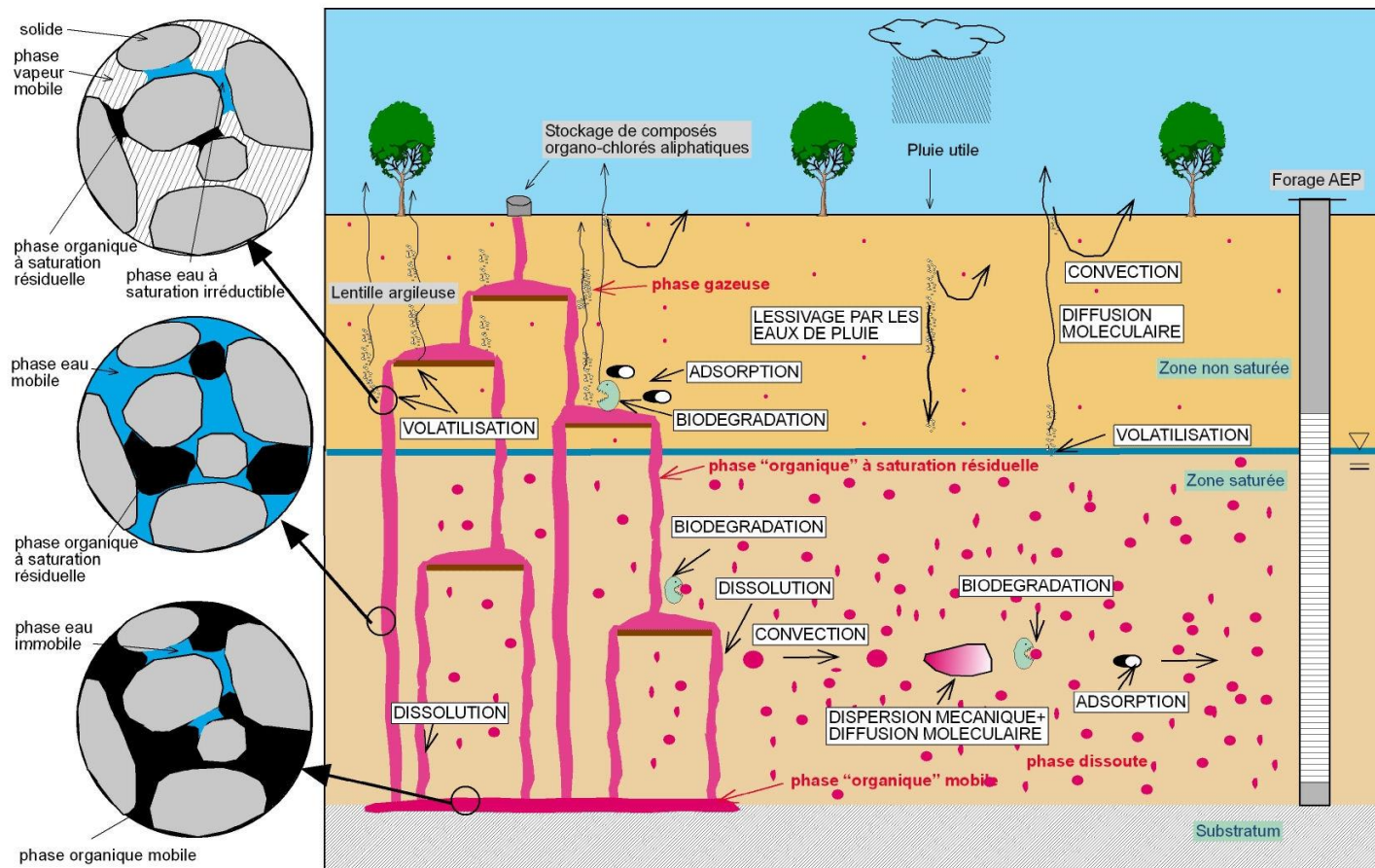
Clarification des objectifs – futur bâtiment



Les diagnostics

Physique et facteurs d'influence dans le sol

1. Comment les COV sont-ils présents dans le milieu sous-terrain ?
2. Quels équilibres / mécanismes de transfert ?



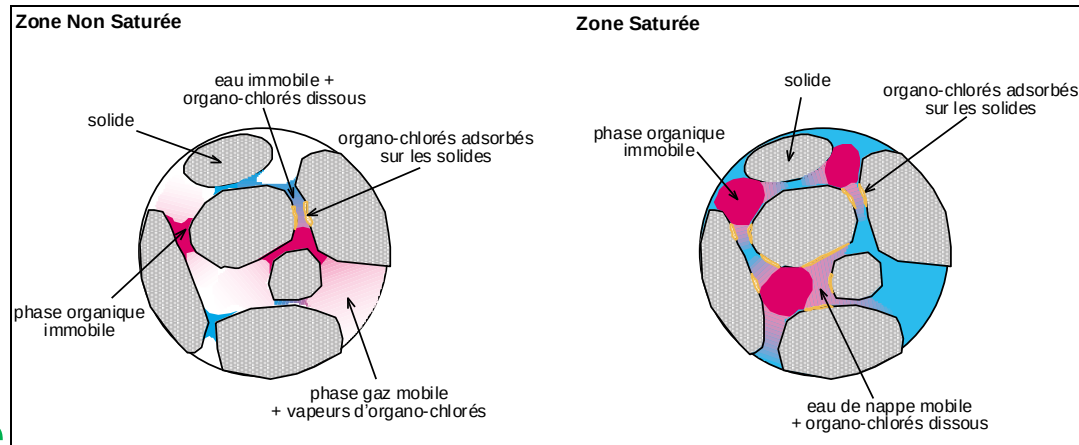
Les diagnostics

Physique ... Echanges entre phases

Guide ADEME / MACAOH, 2007

- Les polluants se trouvent sous 4 états physiques

- Phase organique (NAPL)
- Phase dissoute
- Phase gazeuse
- Phase sorbée (sur matières organiques / minérales)



- Saturation en phase organique

$$So = V_o / V_{pore}$$

- Saturation résiduelle en phase organique, S_{or}

- Capacité de **rétenion capillaire** du milieu poreux

$So < S_{or} \rightarrow$ NAPL immobile

$So > S_{or} \rightarrow$ NAPL mobile

- S_{or} dépend du NAPL, des phases et du sol issu de bases de données

BDD S_{or} et répartition type des polluants dans les 4 phases du sol

Guide ADEME / MACAOH

Sable moyen (porosité 40%)	Système	Saturation résiduelle %	Concentrations TCE PCE mg/kg MS	
TCE/PCE	ZNS	4	10 000	5 400
TCE/PCE	F.Cap.	9	21 500	12 000
TCE/PCE	ZS	11	26 000	14 500
TCE	ZNS	3.5	13 000	-
TCE	F.Cap.	5	18 000	-

Les diagnostics

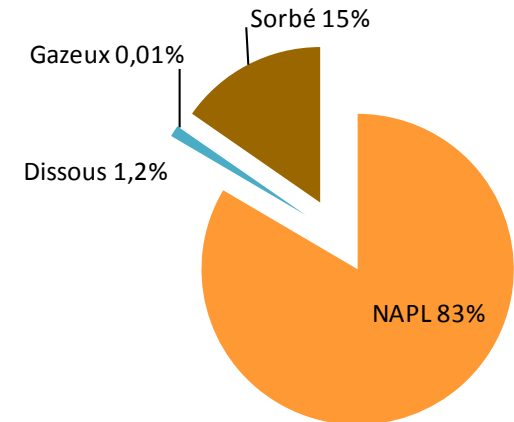
Physique ... Echanges entre phases

- Dans les zones sources

- **Phase organique (NAPL) = MAJORITAIRE**
- Phases dissoute, gazeuse, sorbée = minoritaires

Exemple d'un sol de ZNS contaminé en PCE/TCE, NAPL présent pour
Csol > 100 m/kg MS dans les sables
Csol > 750 m/kg MS dans les limons

Sols avec NAPL



Distribution des masses de polluant

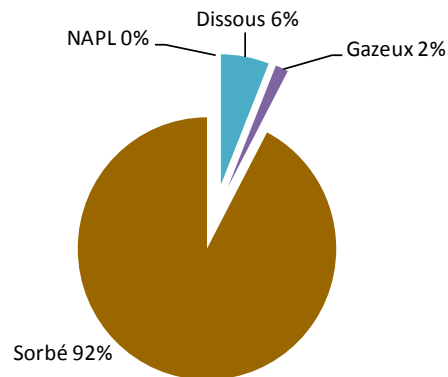
- En dehors de la zone source

NAPL absent

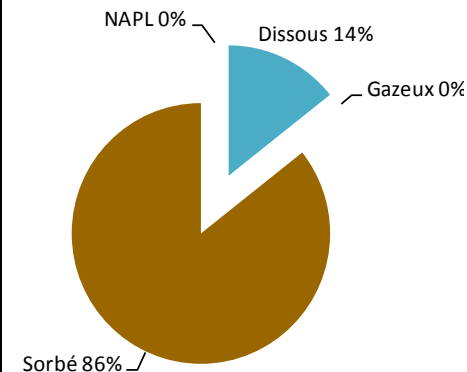
- **Phase sorbée = MAJORITAIRE**
- Phases dissoute et gazeuse = minoritaires

Exemple d'un sol de ZNS ou ZS (nappe) contaminé en PCE/TCE pour
Csol entre 0,05 et 80 mg/kg MS – sables
Csol entre 0,05 et 600 mg/kg MS – limons

Limons en ZNS sans NAPL



Sables en ZS sans NAPL



Effets cinétiques

Logiciel dédié échanges entre phases

OREOS

1. Panaches combinant processus diffusif et convectif

Diffusif = 1ere loi de Fick

$$\mathbf{J}_{diff} = -D_{eff} \nabla C_a$$

$$D_{eff} = \theta_a \tau D$$

Convection = loi de Darcy

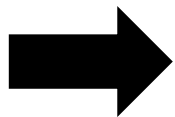
$$\mathbf{J}_{conv} = \mathbf{V} C_a$$

$$J_{conv,z} = V_z C_a = - \frac{k k_{ra}}{\mu_a} \left[\frac{\partial p_a}{\partial z} + \rho_a g \right] C_a$$

k [L^2], k_{ra} [-], ρ_a [ML^{-3}], μ_a [$ML^{-1}T^{-1}$], p_a [$ML^{-1}T^{-2}$] et C_a [M/L^3] représentent la perméabilité intrinsèque du milieu poreux, la perméabilité relative, la masse volumique, le coefficient de viscosité dynamique, la pression du mélange gazeux au point de mesure et la concentration du COV dans l'air du sol.

2. Paramètres d'influence environnementaux

- Variation des pressions de l'eau et de l'air, de la température, du terme source (source dissoute en nappe ou en zone de battement de nappe) p_a
- Variation de C_a , de D_{eff} , de k , k_{ra} , p_a



Système dynamique et en cela complexe

Les diagnostics

Prélèvement dans les Gaz du sol

1. Mesures semi-quantitatives in situ

-> sur les échantillons de sol

Objectifs : Diag zone source et **définition prof/hauteur de crépine**

-> sur des ouvrages (canne-gaz, piézair ou sous-dalle)

Objectifs : Cartographie de panache à faible profondeur

Vérification stabilité des concentrations

Préciser la durée de prélèvements quantitatifs

2. Prélèvements et analyse sur site

-> sur ouvrages, pompage et introduction sur GC/MS de terrain

3. Prélèvements et analyse en laboratoires

-> par pompage et adsorption (charbon actif, carbotrap...)

-> par pompage sans adsorption (canister, sac tedlar, barbotage)

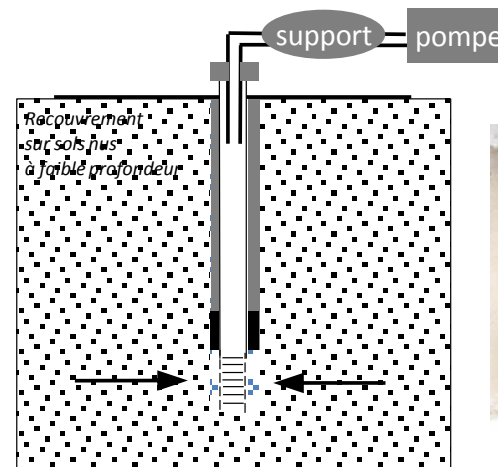
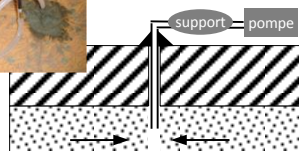
-> par diffusion (Echantillonnage passif pour screening)

Les diagnostics

Ouvrages de mesure dans les Gaz du sol

Dépendance à l'objectif

- Canne-gaz (mesure ponctuelle) : Panache (screening en sub-surface)
- piézair (ouvrage pérenne) : Panache et migration, surveillance
 - Une ouverture de crépine = une information
 - Connaissance des flux vers la surface = multiples hauteurs crépinées
- Sous-dalle (mesure ponctuelle) : pour faire le lien avec les transferts vers l'air
 - Bâtiment existant / revêtement pérenne
 - Couplage avec mesure dans l'AI à envisager



Les diagnostics

Méthodes de prélèvement - GdS

En fonction des COV et objectifs

Voir : Guide INERIS-BRGM (nov 2016)



Passifs (BeSure®, SPG, TIPS, Beacon...)

- +/- exposition plus « longue »
- + pour le screening en masse
- pour la quantification
- les facteurs d'émission peu connus
- + Supports / analyses par désorption thermique (LQ plus basses) ou extraction CS₂ (LQ plus élevées)



Conteneur sous vide (canister)

- +/- exposition moyenne durée : 1 h à 3j
- + pas de risque de mauvaise adsorption
- Coût potentiellement plus élevé que support adsorbant
- Attention à l'acceptabilité de la dépression créée
- Traitement vav de la condensation (HR élevée)

Sac tedlar

- +/- exposition moyenne durée : qq h.
- + pas de risque de mauvaise adsorption
- LQ élevées
- Conservation / transport
- Réactivité (sorption/ lumière)
- Condensation (HR élevée)



Adsorption active (CA, Carbotrap pour COV)

- +/- durée < 24 h -> mesure ponctuelle
- + facilité de mise en œuvre
- Compétition d'adsorption en cas de mélange
- Influence de l'HR pour les composés légers (Teb < 100°C)
- Maîtrise des débits

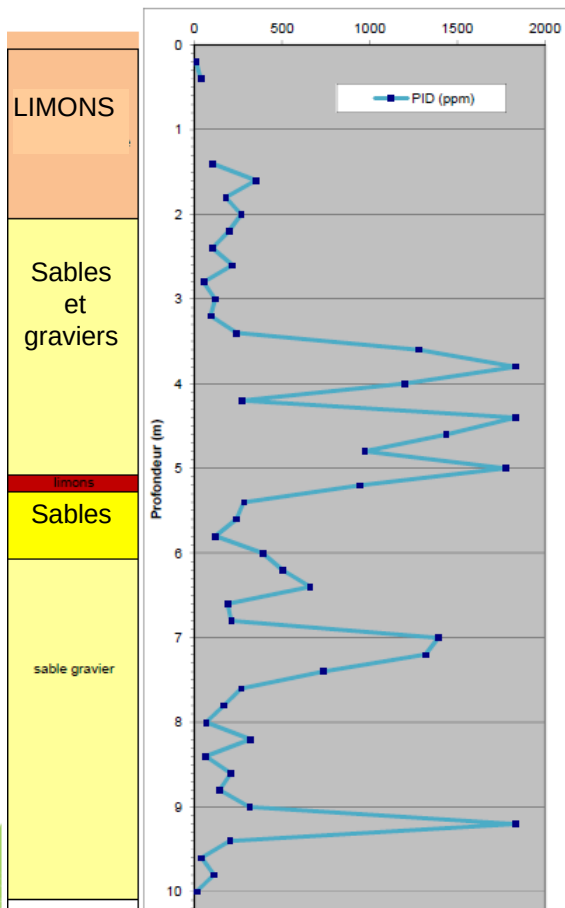
Les diagnostics

Screening Gaz du sol

1- PID : exemple lors de la réalisation de sondage

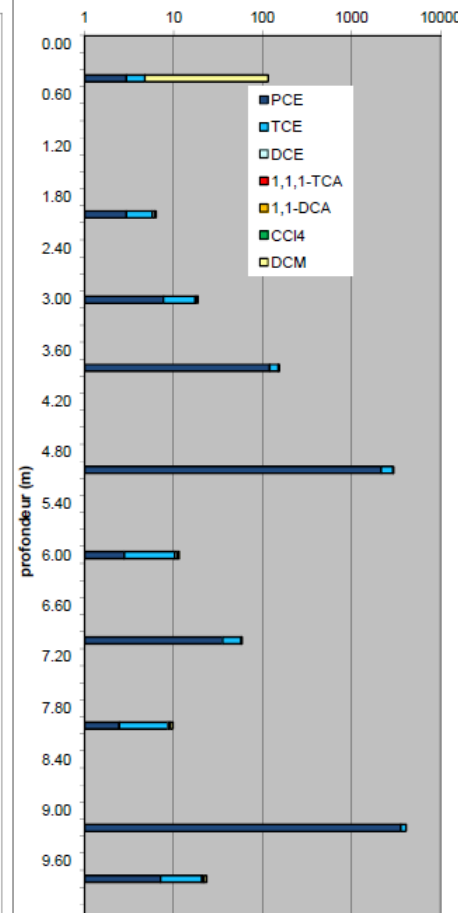
- Sélection des échantillons de sols pour recherche de source
- Localisation de la crépine de pza

coupe



PID (ppmv)

Csol (Log-mg/kgMS).



Mesures PID

bon guide de sélection



Mais réponses
dépendent des Polluants

Possible autres analyseurs in
situ : FID / GC-MS / réactifs ...

2- Echantillonneurs passifs (non exhaustif)



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 en verre avec capuchon grillagé et adsorbants brevetés)	 SPG-0008 (membrane GoreTex® et adsorbants brevetés)	 TIPS, en développement (membrane GoreTex® entourant un vial en verre équipé d'un bouchon muni d'une membrane GoreTex®, et adsorbants brevetés)	 tube en acier inox avec adsorbant (spherocarb ou carbotrap ou chromosorb 106), tête de diffusion depuis 08/2015	 tube en acier inox avec adsorbant Radiello®145, avec tête de diffusion 	 corps diffusif avec adsorbant Radiello® 145
Constructeur/ Fournisseurs/ Analyses	BEACON Environnemental Service Inc (USA)	Amplifeid Geochemical Imaging LLC - AGI (USA)	BEACON Environnemental Service Inc (USA)	INERIS, développement interne, conditionnement d'un tube Perkin Elmer et d'un adsorbant Radiello®	Radiello®, représentants de la marque et laboratoires

Les règles

- Une norme en cours de révision : NF ISO 10381-7:2006
- Guide BRGM-INERIS (2016)
- Guides FLUXOBAT (2013), éléments du projet TEMPAIR (2017) sur la représentativité ...

Points d'attention

- La purge préalable
- La bonne étanchéité et les indicateurs de biodégradation
- La saturation des supports versus les limites de quantification
- La représentativité en z
- Les conditions hydro-météorologiques et la représentativité des points et mesures

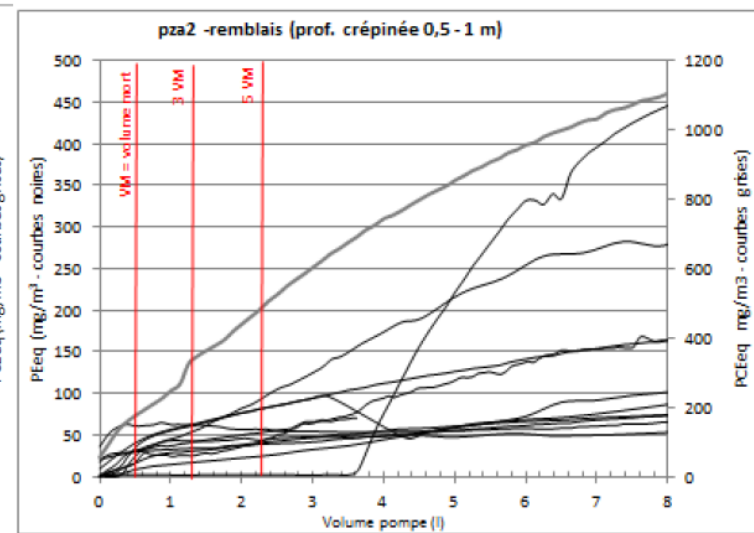
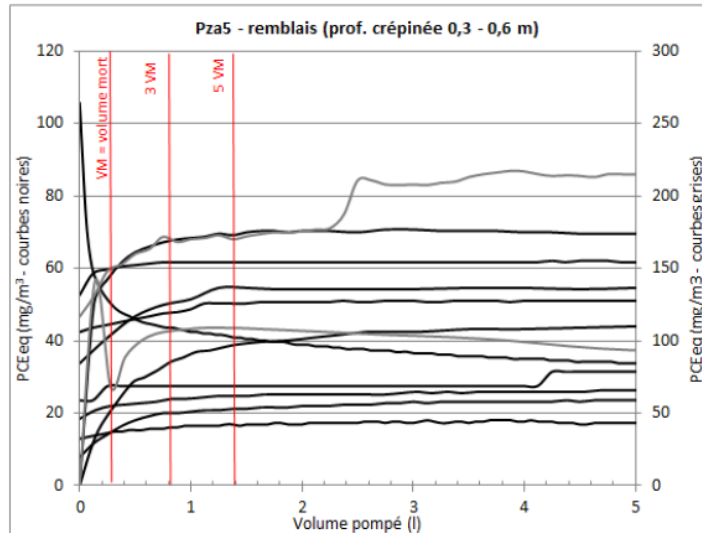
Les diagnostics

Mise en œuvre : à retenir dans les Gaz du sol

A retenir 1 – importance de la purge préalable

- Stabilité des concentrations dans l'ouvrage lors du prélèvement
- Dans le cadre de la surveillance : besoin d'une information comparable
- Règles de purge 3V ou 5V adaptée en général mais pas toujours...

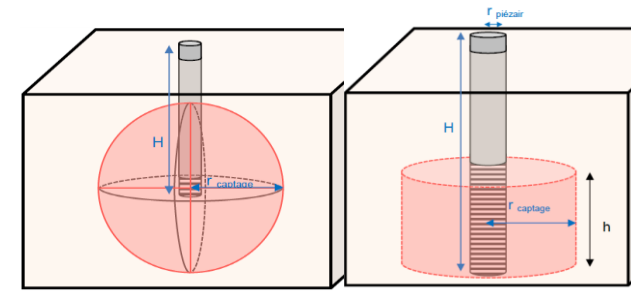
➔ **Privilégier l'utilisation du PID pour la purge**



Source : Traverse et al. Projet TEMPAIR (2017)

A retenir 2 – connaître la zone de prélèvement

- Calcul dépendant de la purge, du débit et de la durée du prélèvement



Source : BRGM-INERIS (2016)

Les diagnostics

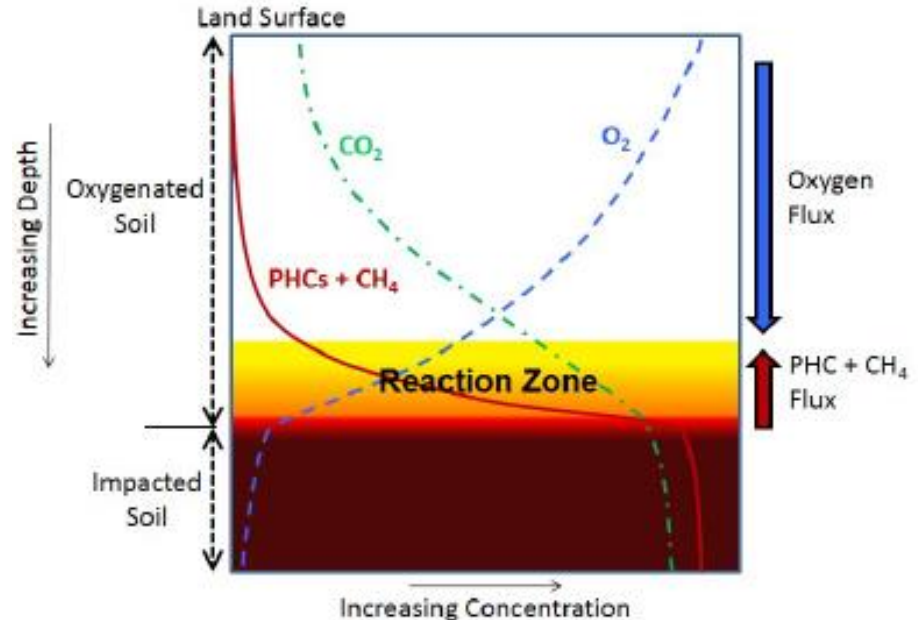
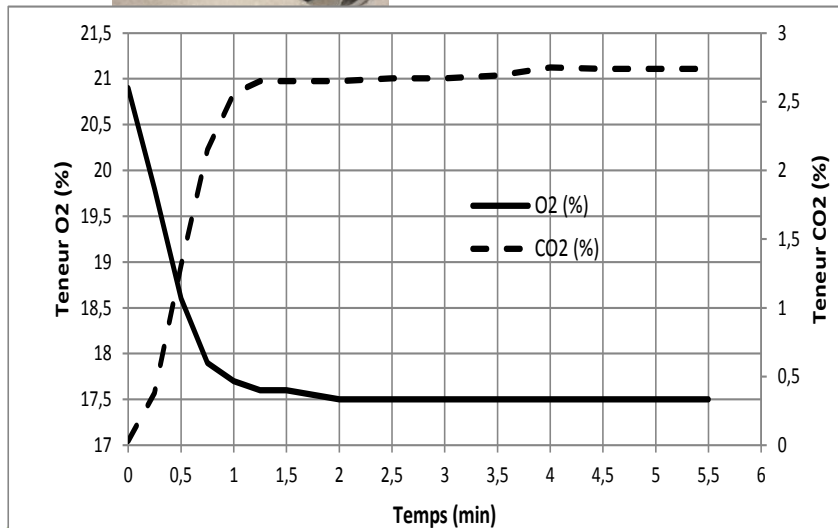
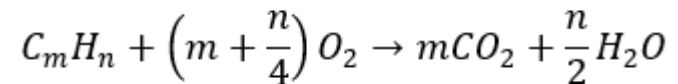
Mise en œuvre : à retenir dans les Gaz du sol

A retenir 3 – Indicateurs de bonne étanchéité et de dégradation

- Dans les gaz du sol O₂ forcément < 21,9% (plus on est profond plus ce sera le cas) remplacé par CO₂ (> 0,04 %) associé à l'activité microbienne normale du sol

➡ **Mesures des indicateurs de type O₂/ CO₂ / CH₄...**

- Dégradation aérobie des Hydrocarbures, relation stœchiométrique :



Source : EPA (2001)

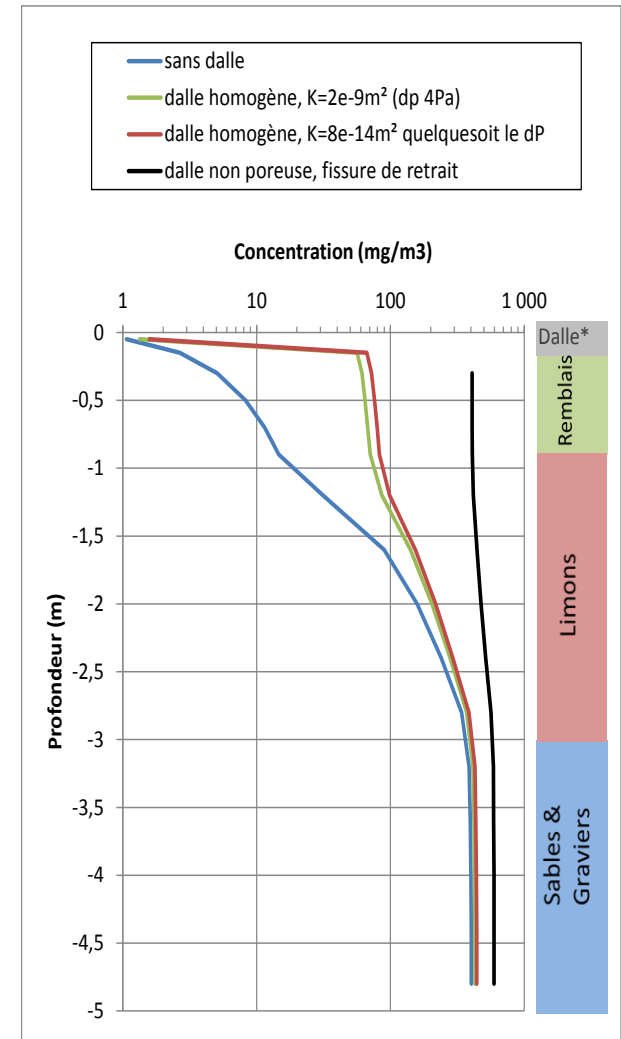
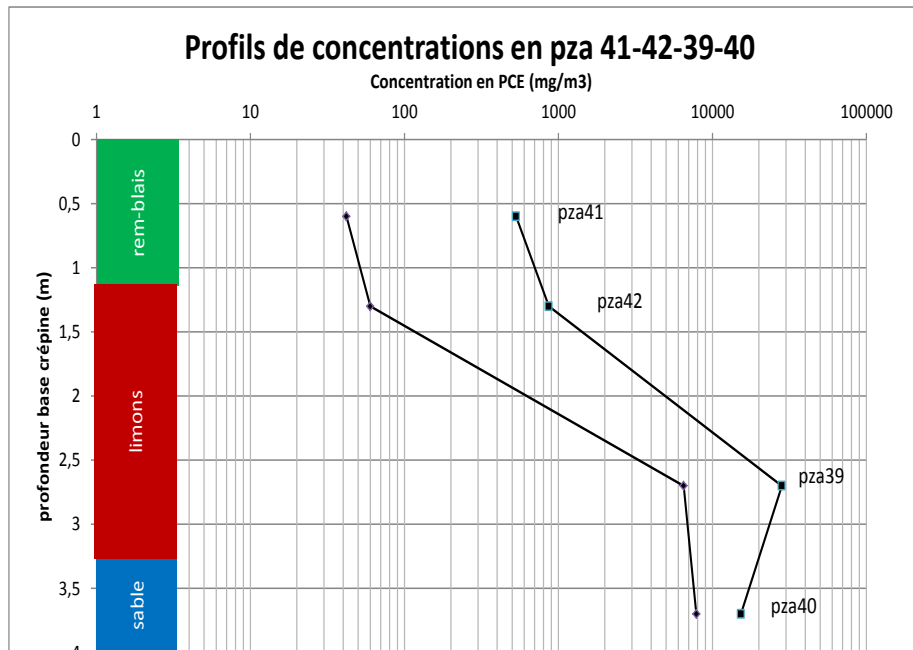
Les diagnostics

Mise en œuvre : à retenir dans les Gaz du sol

A retenir 4 – Eviter de mélanger

Existence d'une variabilité suivant Z dépendante de la lithologie, de la localisation de la source, de la dégradation éventuelle et du recouvrement de surface

➔ **Limiter la hauteur crépinée (un horizon, < 0,5 m)**



Source : Fluxobat (2013)

Les diagnostics

Mise en œuvre : à retenir dans les Gaz du sol

A retenir 5 – Prendre en compte la possible saturation des supports adsorbants

- Absence d'incidence de l'humidité relative pour la recherche de concentrations significatives (démontrée : projet TEMPAIR & EFEMAIR pour TCE / PCE / HC-nC>8)
- Problématique de compétition d'adsorption entre les polluants à considérer en fonction de l'enjeu (supports sélectifs)



Purge PID

Analyse zone de contrôle

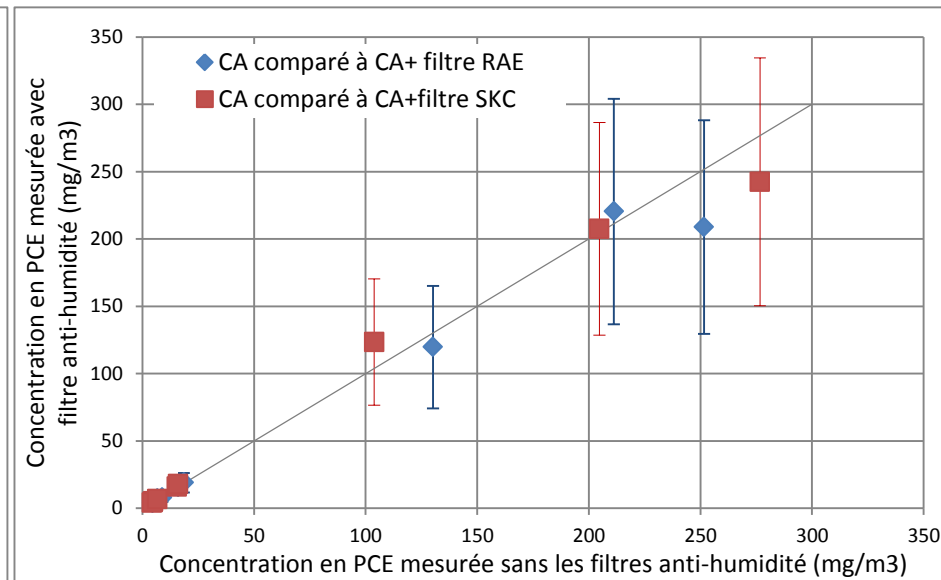
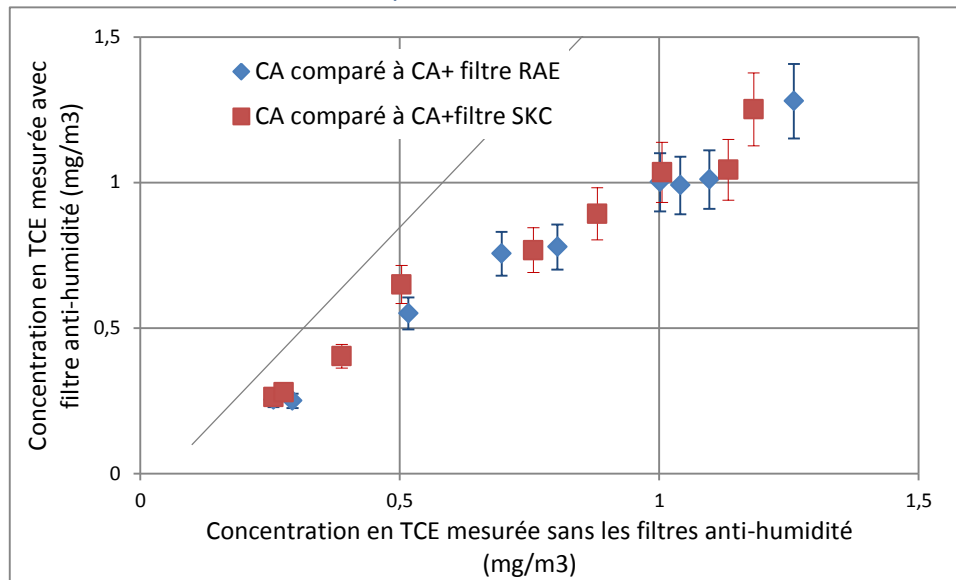
Choix autre support de prélt

Résultats TEMPAIR

Trois campagnes, trois piézairs, deux lithologies

Prélèvements sur charbon actif avec/sans filtre (SKC et RAE)

HR entre 88 et 100%, T entre 6 et 23 °C dans les terrains



A retenir 6 : Les concentrations sont variables dans le temps

Variations liées

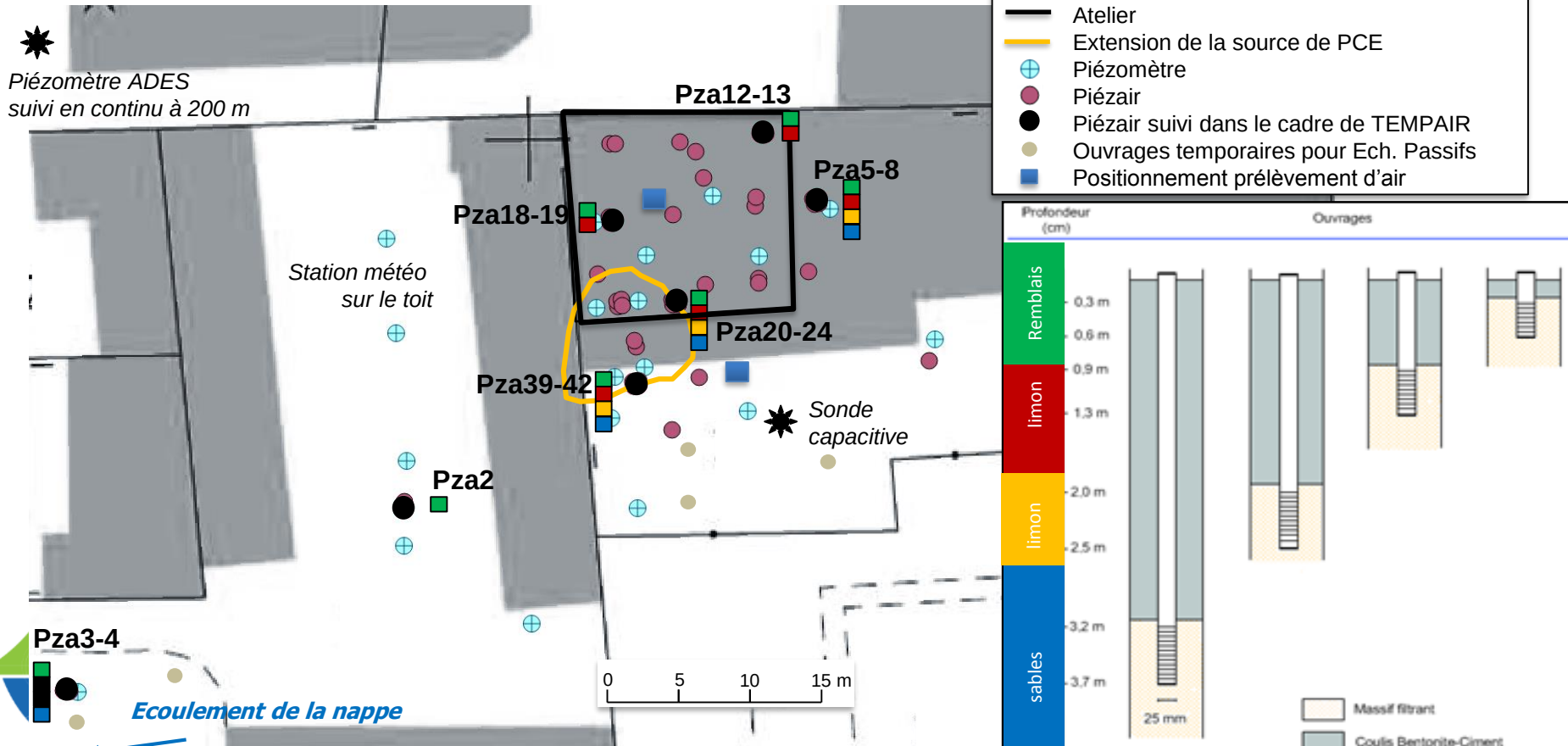
- À l'influence de la **température** sur la volatilité des polluants et la diffusion
- À des variations de **pression dans le sol** (pluie, battement de nappe, pression atmosphérique, effet du vent, effet du chauffage du bâtiment)
- À l'influence de la **pluie** (barrière potentielle)

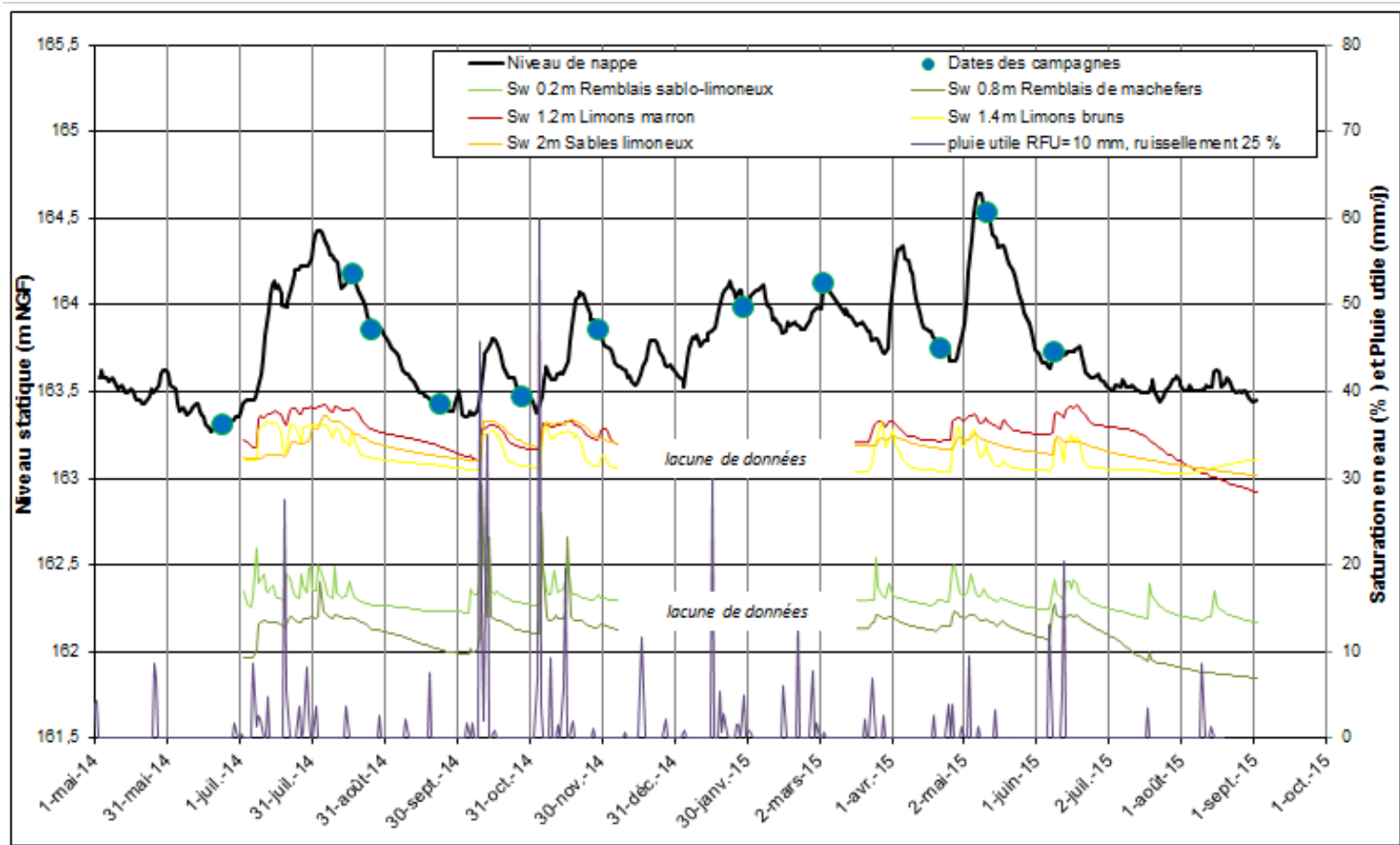


Illustration à travers les mesures et modélisations
conduites sur sites ateliers
(projets R&D : FLUXOBAT, TEMPAIR, EFEMAIR)

Restitution des projets TEMPAIR et FLUXOBAT

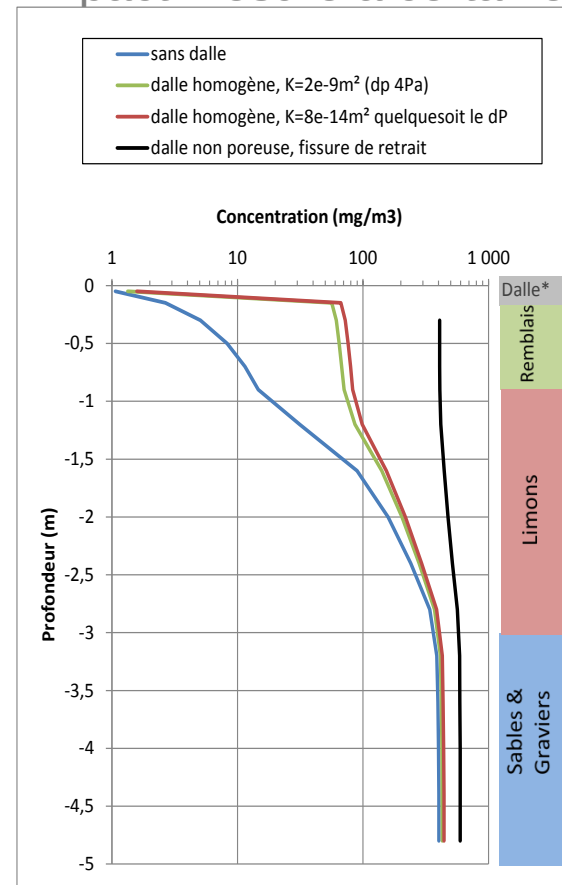
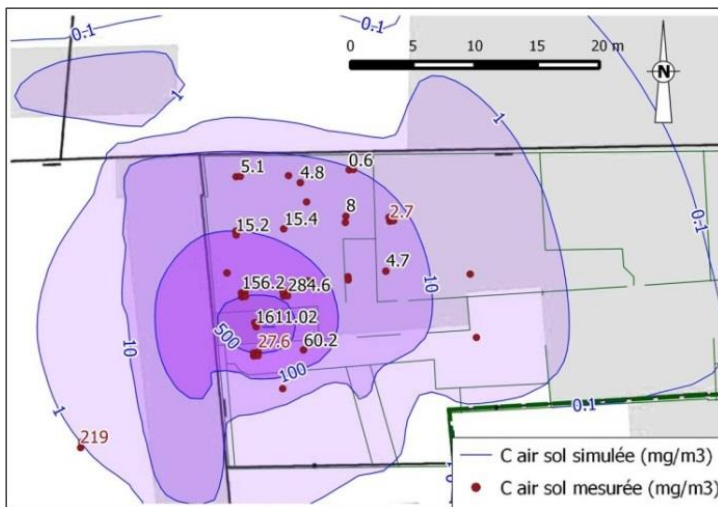
- Source PCE dans la zone non saturée
- Nappe à 5 mètres de profondeur
- Piezairs à différentes profondeurs de 0,3-0,7 m à 3,2-3,7 m





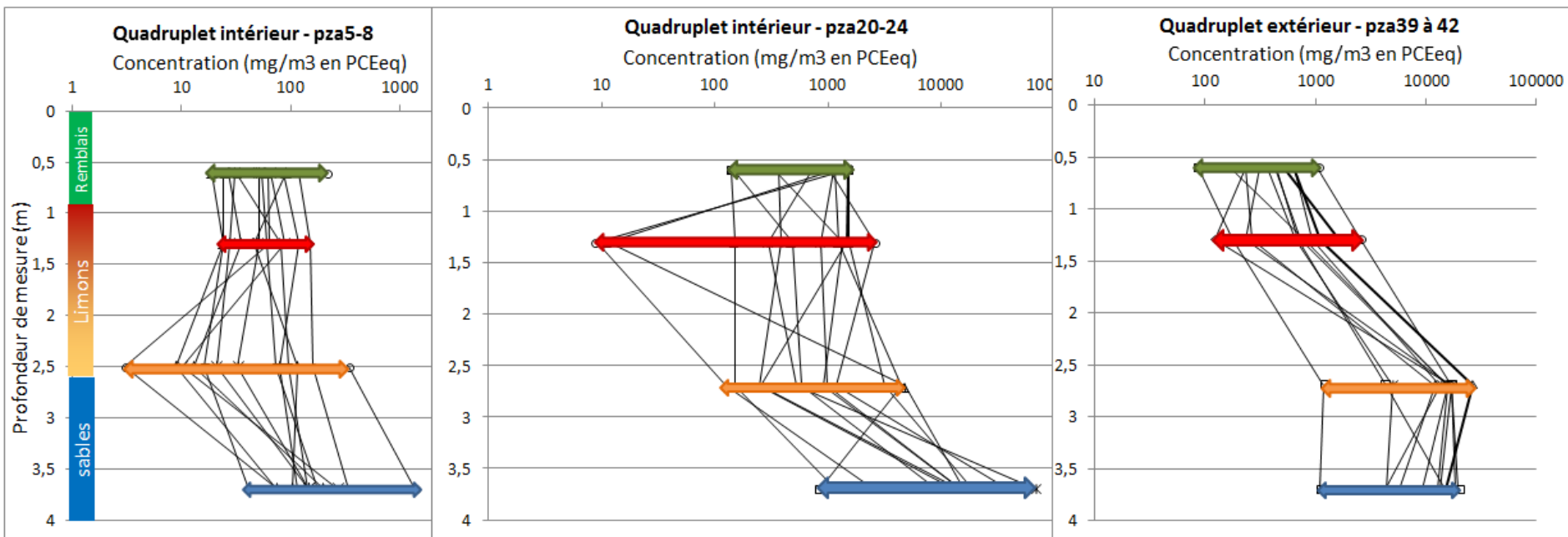
Variabilité spatiale mesurée (PCE)

- 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/m³
 - Remblais : <0,1 à 26 mg/m³



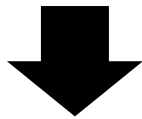
Variabilité temporelle mesurée (PCE)

- 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% ($\uparrow$ nuit $\downarrow$ journée)



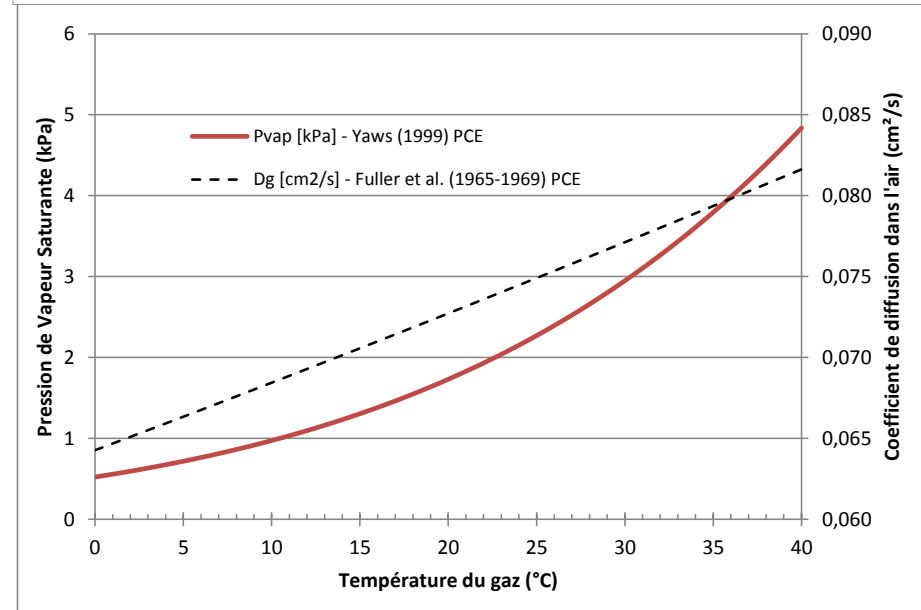
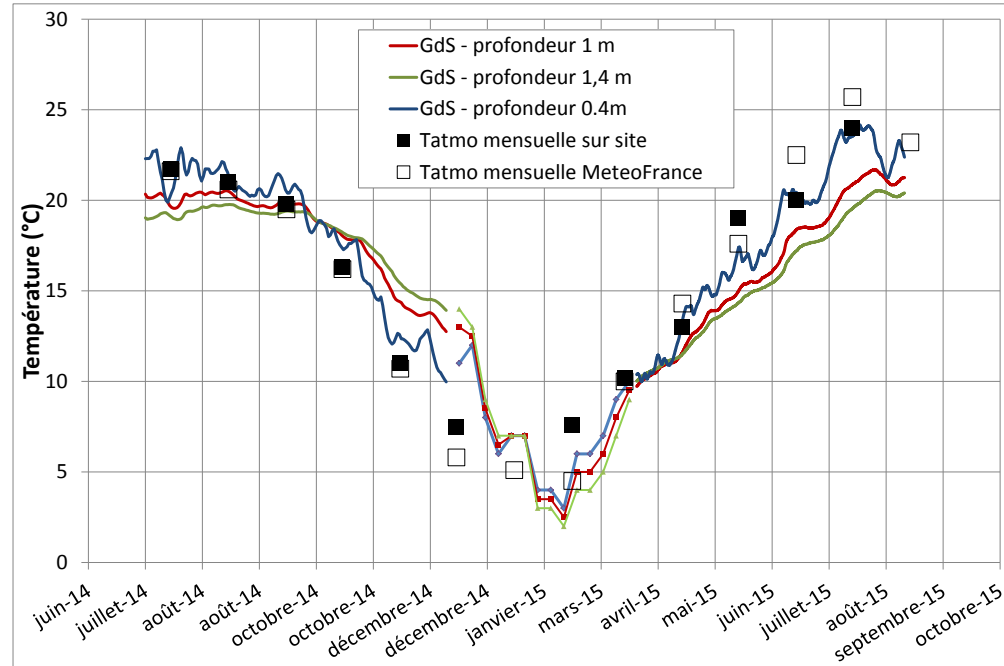
Variation de température

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



Pression de vapeur saturante & coefficient de diffusion

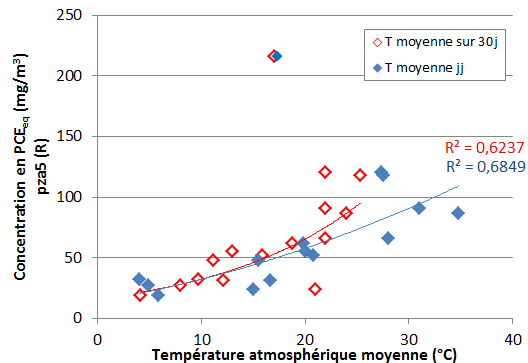
- $\Delta C_{\text{PCEsaturation}}$ 38 à 131 g/m³ (+240%)
- ΔDg_{PCE} 0,065 à 0,074 cm²/s (+14 %)



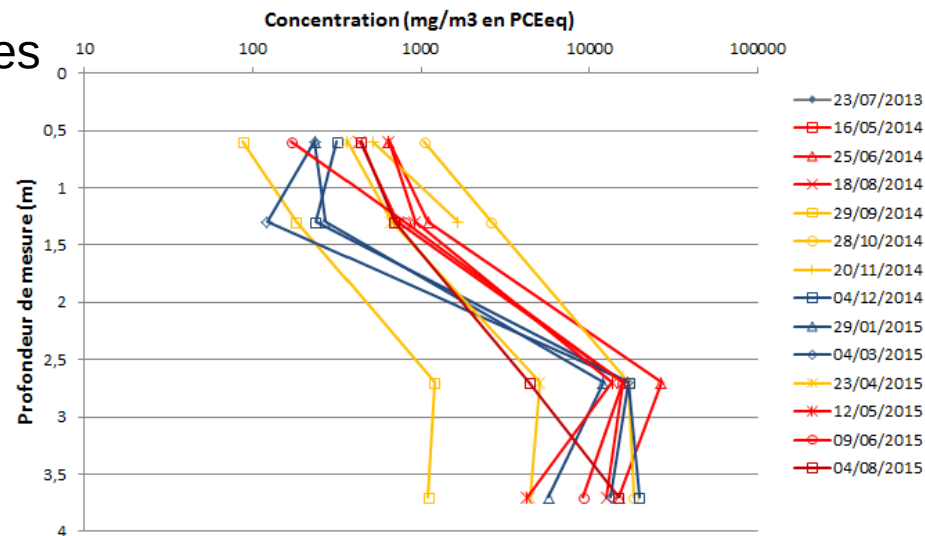
Variabilité des concentrations dans les GdS

Température et concentrations

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

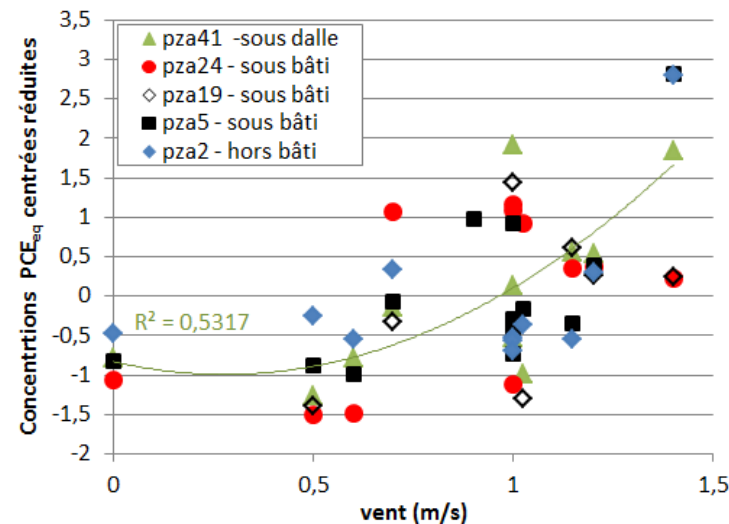


Quadruplet extérieur - pza39 à 42
Dépendance à Text (bleu <10°C, jaune 10<<20°C, rouge > 20°C)



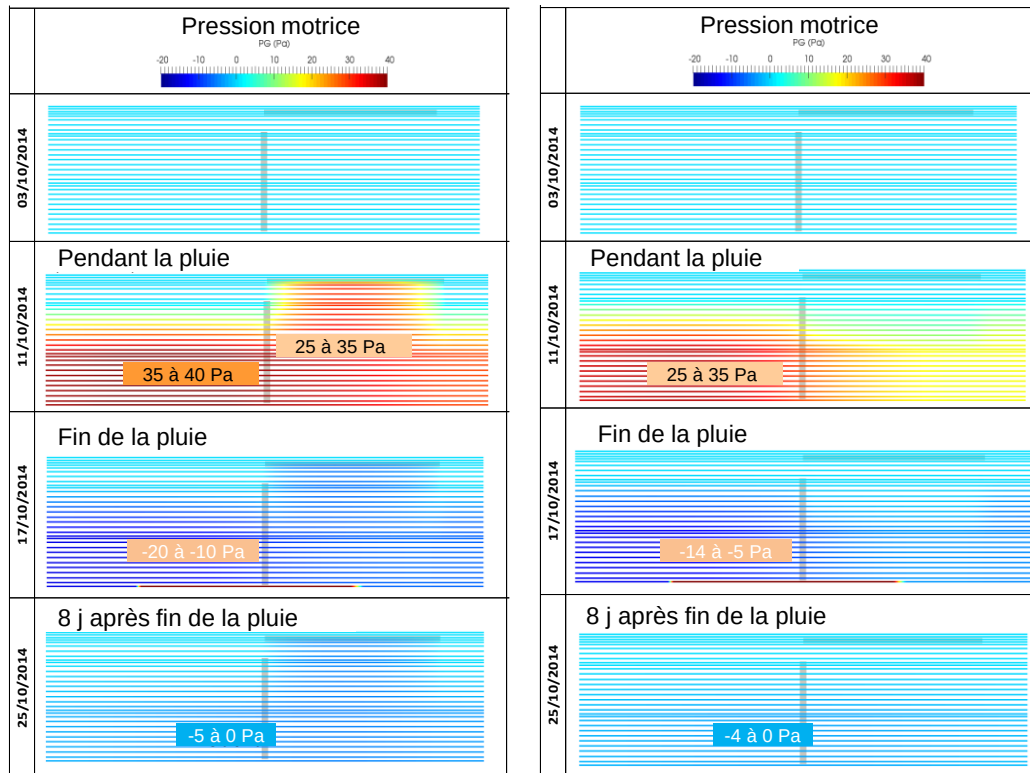
Vent et concentrations

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



Influence de la Pluie

- Sur les pressions, écoulements et concentrations : dépendants de K_{sol} , K_{dalle} et profils S_w



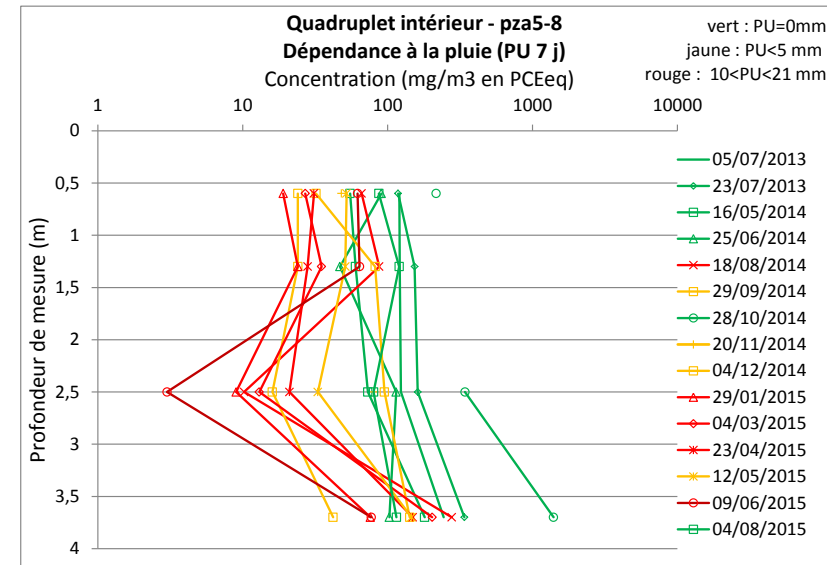
$K_{dalle-} (2.10^{-16} \text{ m}^2)$

-

$K_{dalle+} (2.10^{-12} \text{ m}^2)$

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

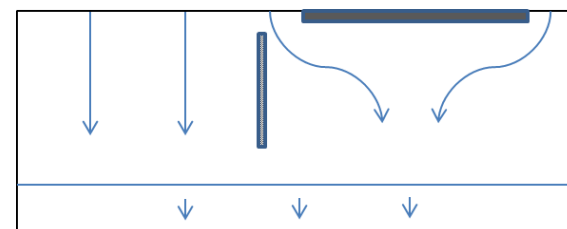
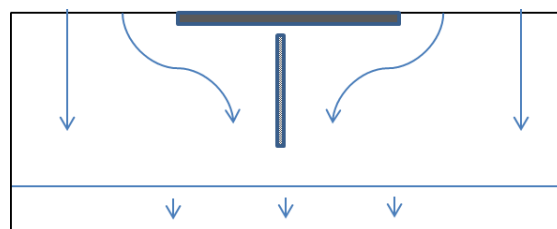
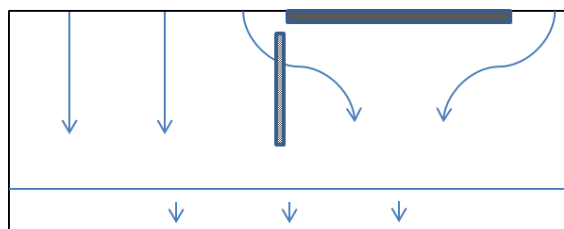


Les diagnostics

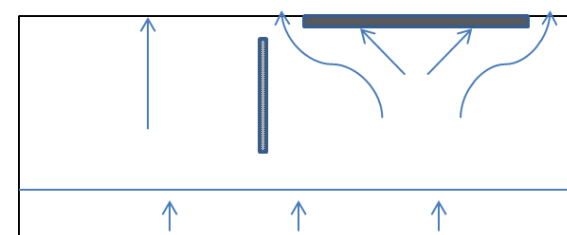
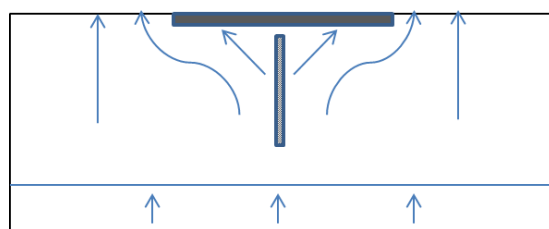
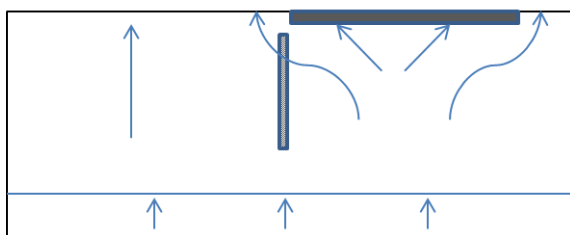
Mise en œuvre : à retenir dans les Gaz du sol

A retenir 6 : Les concentrations sont variables dans le temps

Impact des conditions hydrométéorologiques dépendantes de la lithologie, du positionnement de la source



Baisse du niveau de nappe



Infiltration de pluie & Hausse du niveau de nappe

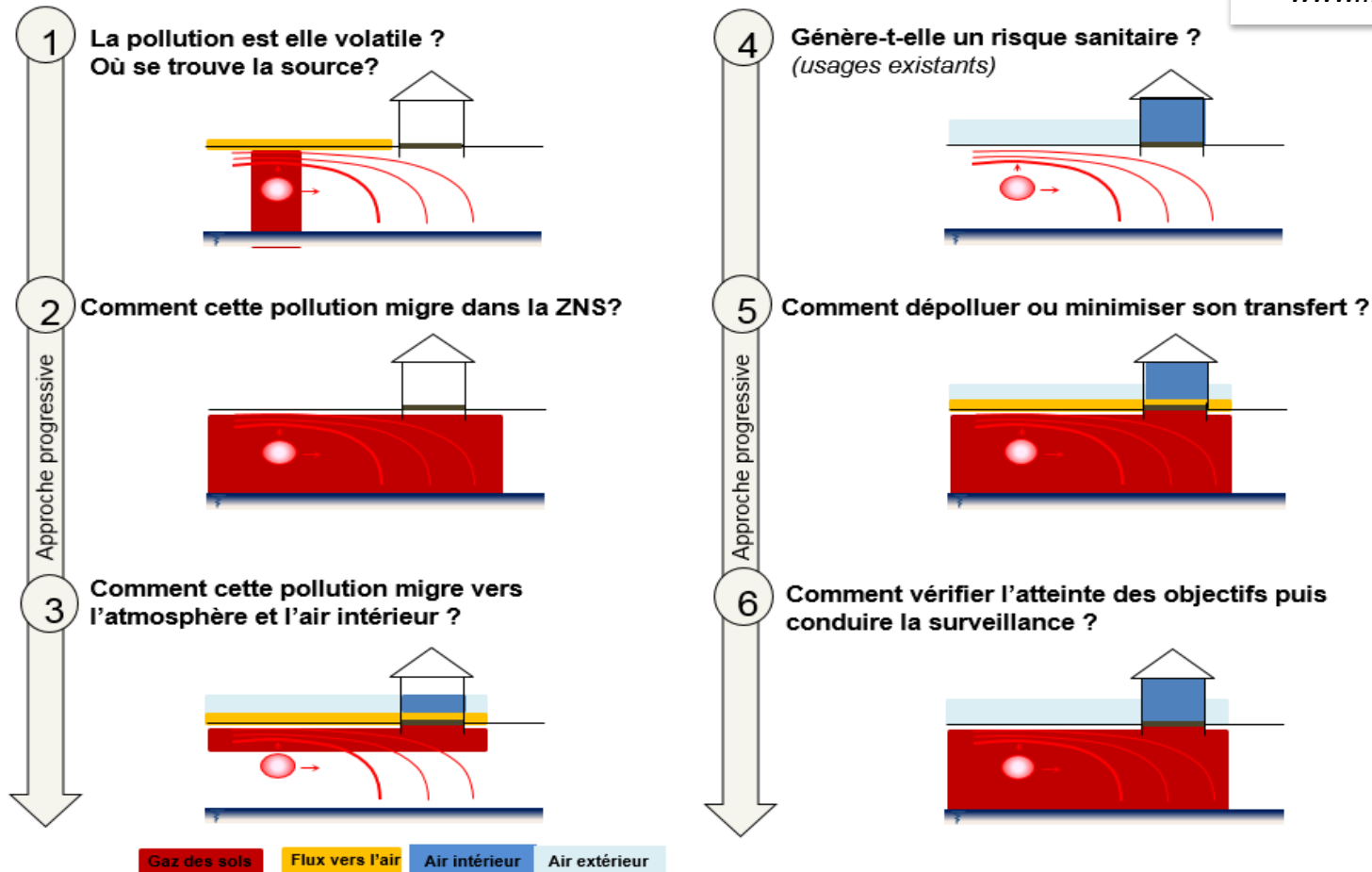
Source : EFEMAIR (2017)

Représentativité : à retenir dans les Gaz du sol

- 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

Toujours revenir aux objectifs

www.fluxobat.fr



Bâtiment futur

1. Schéma de fonctionnement du système

- Source (phase organique, pollution adsorbée, dissoute); transfert et panache; influence des variables; transfert vers les cibles (dont influence des aménagements ultérieurs)
- Confrontation des concentrations dans les différents milieux (sols, eaux, gaz) : appui modélisation physique (OREOS ou autre)

2. Discussion dépendant de l'objectif ...

Comparaison aux valeurs guides pour l'air intérieur (ou VTR)

Si pertinent : Application de facteurs d'atténuation (α)

3. Modélisation des transferts

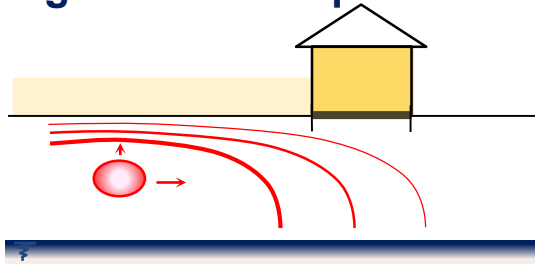
- Choix du modèle, des conditions aux limites (dont conc. GdS)
- Acquisition des paramètres nécessaires
- Interprétation des simulations

Les diagnostics

Objectifs - Air intérieur

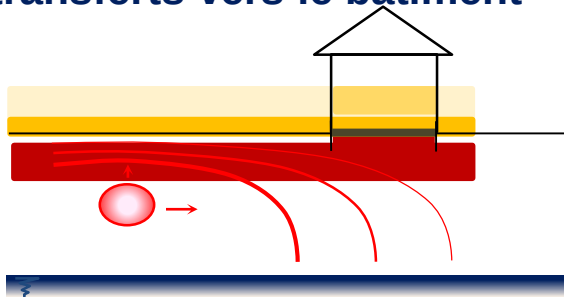
Approche progressive

1 Diagnostic de la qualité de l'air et risques sanitaires induits



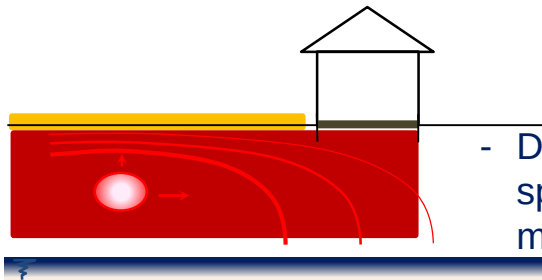
- Visite et questionnaire d'enquête spécifique
- Mesures dans les lieux de vie
- Mesures sur des périodes longues (plusieurs jours), a minima 2 en hiver et 1 en été

2 Origine des COV dans les sols (lien de causalité) et compréhension des transferts vers le bâtiment



- Visite et questionnaire d'enquête spécifique
- Mesures de concentrations dans les zones de transfert et zones d'accumulation sur de longues périodes durant les périodes propices aux transferts
- Mesures dans les gaz des sols sous dalle

3 Localisation de la source & compréhension des transferts dans les sols



- Diagnostics spécifiques du milieu souterrain

Références

Domaine des sites et sols pollués : cadre méthodologique des circulaires de février 2007, norme NF X 31620 de 2011

Cadre normatif sur la mesure de la qualité de l'air intérieur

Cadre de la surveillance (ERP, pressing)

Parallèle méthodologique avec la problématique radon ...

Gaz des sols Flux vers l'air Air intérieur Air extérieur

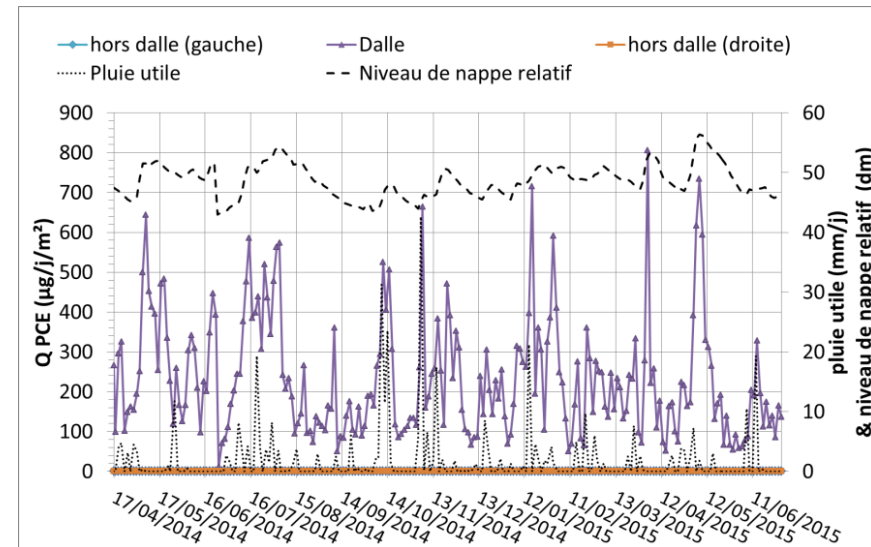
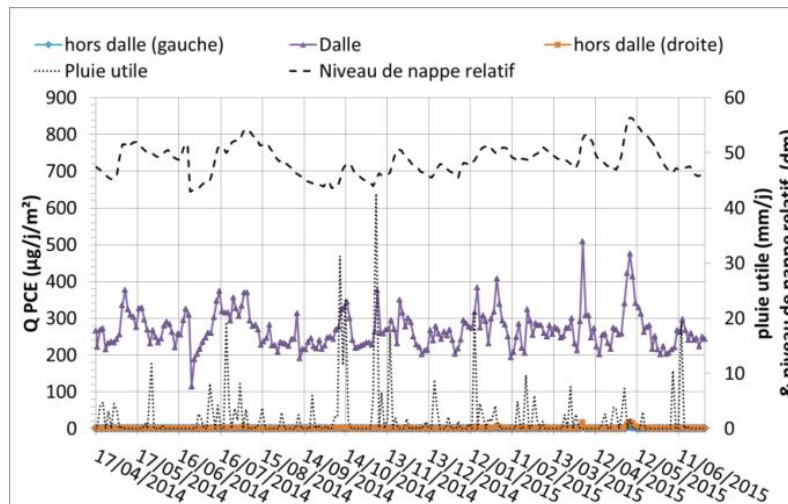
Influence de la perméabilité de dalle

Modélisation CFD transitoire (1 an) des évolutions du panache en PCE dans les gaz du sol et des débits massiques vers l'air intérieur (source sous dalle, lithologie hétérogène : remblais/limons/sables)

Projet EFEMAIR (BURGEAP) en cours

$$k_{\text{dalle}} = 2 \cdot 10^{-13}, 2 \cdot 10^{-12} \text{ et } 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$$

$$k_{\text{dalle}} = 2 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$$



Les diagnostics

Hétérogénéités des transferts - Air intérieur

Influence du positionnement de la source sous bâtiment

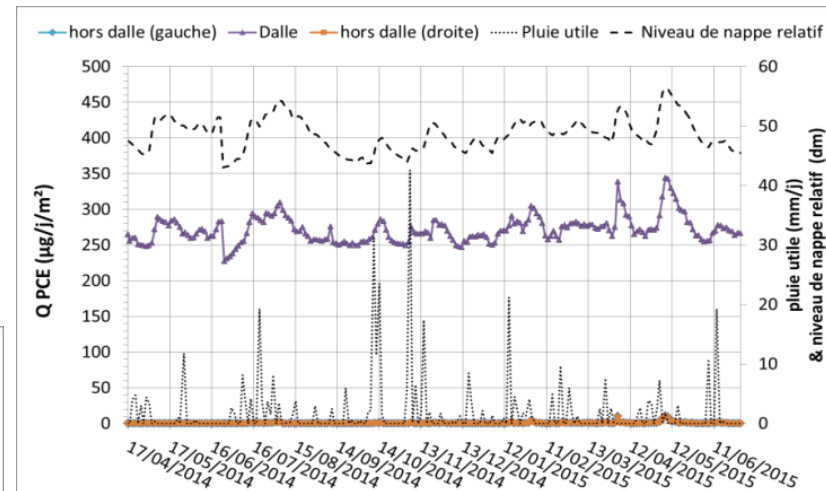
- Approche site spécifique nécessaire
- Connaissance de la pollution, la lithologie



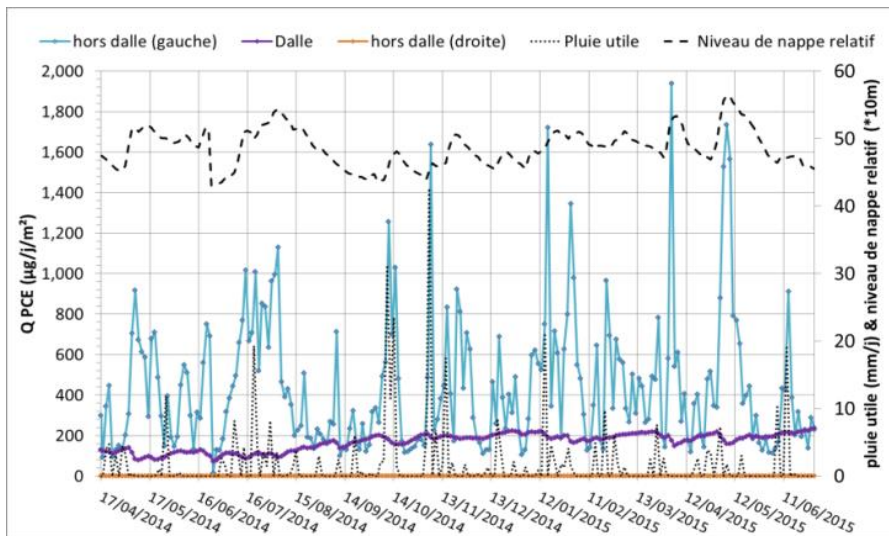
Source sous dalle

Modélisation CFD transitoire (1 an) des évolutions du panache en PCE dans les gaz du sol et des débits massiques vers l'air intérieur (Dalle peu perméable, lithologie hétérogène : remblais/limons/sables)

Projet EFEMAIR (BURGEAP) en cours



Source limite dalle

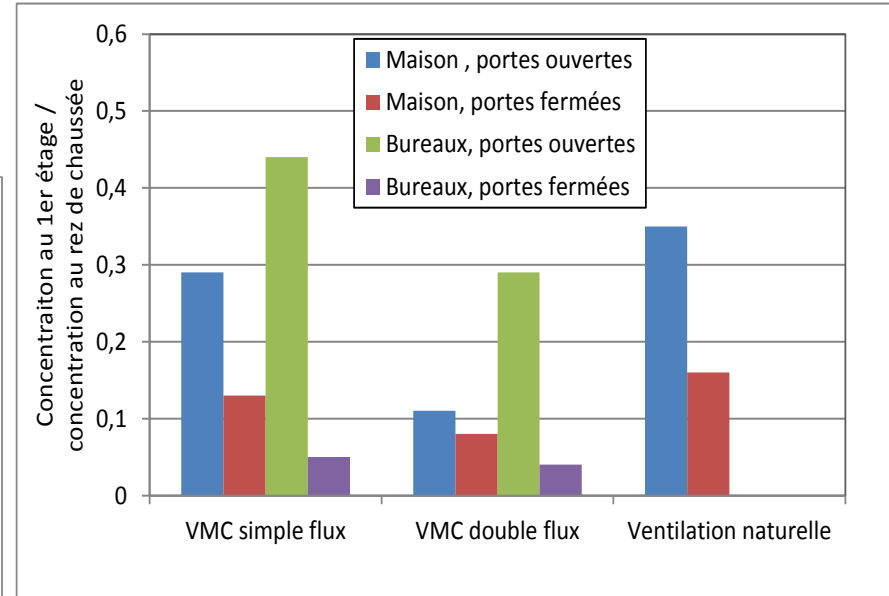
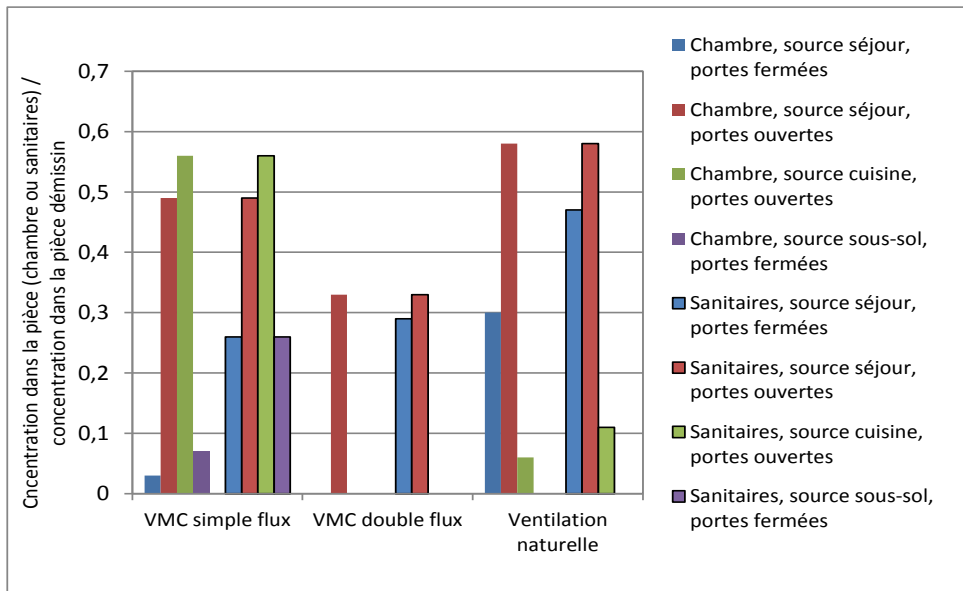


Les diagnostics

Hétérogénéités spatiales - Air intérieur

Variations entre étages et entre pièces

Abattement entre étages lié aux usages, systèmes de ventilation et communications entre niveaux



Mesures réalisées sur la maison MARIA (CSTB) pour des émissions dans différentes pièces en l'absence de chauffage (données issues de Juslin Koffi, 2009)

- Importance de la connaissance du bâtiment et son fonctionnement
- Oriente le choix des pièces de prélèvement
- Dans le cadre d'une surveillance : ne pas modifier les pièces

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

- ## Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

Diagnostic préalable - Air intérieur

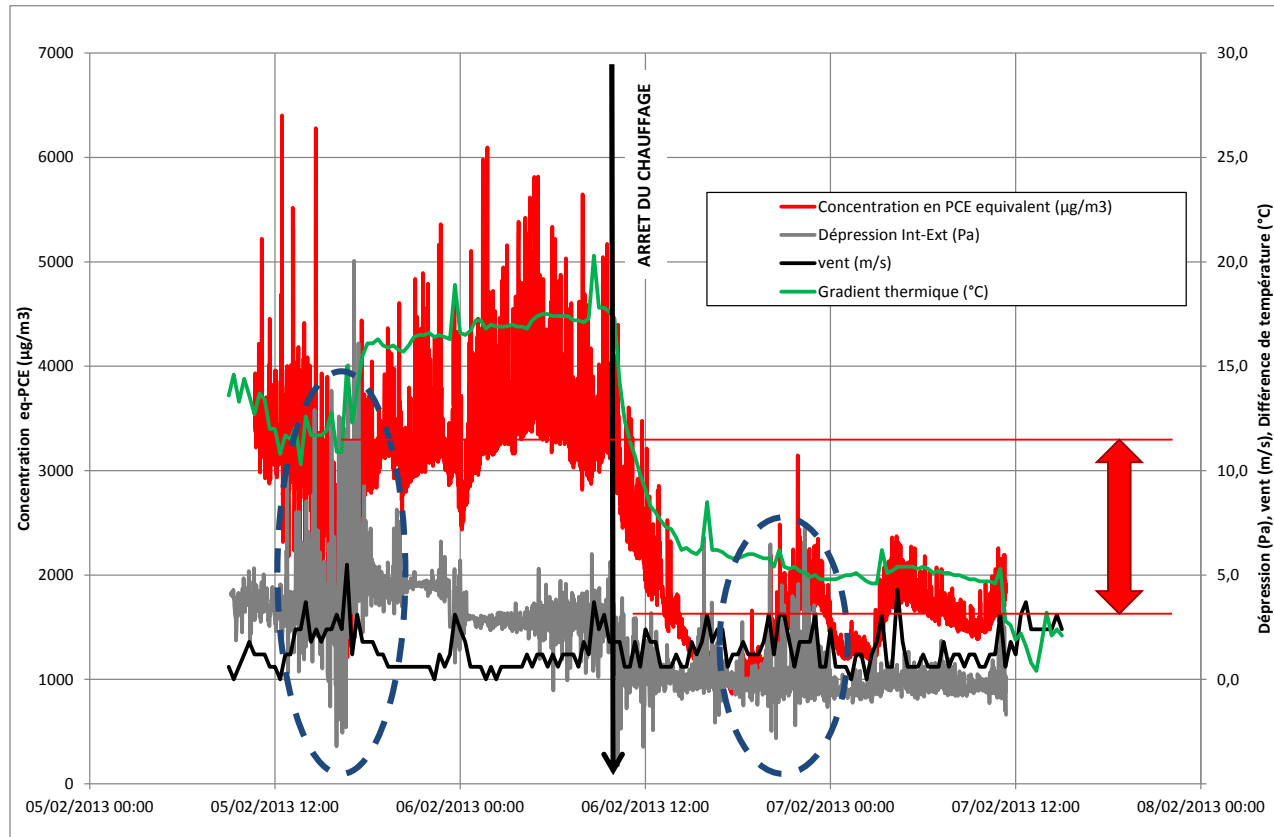
- ## Diagnostic préalable - Air intérieur



Les diagnostics

Variation temporelle - Air intérieur

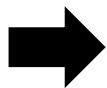
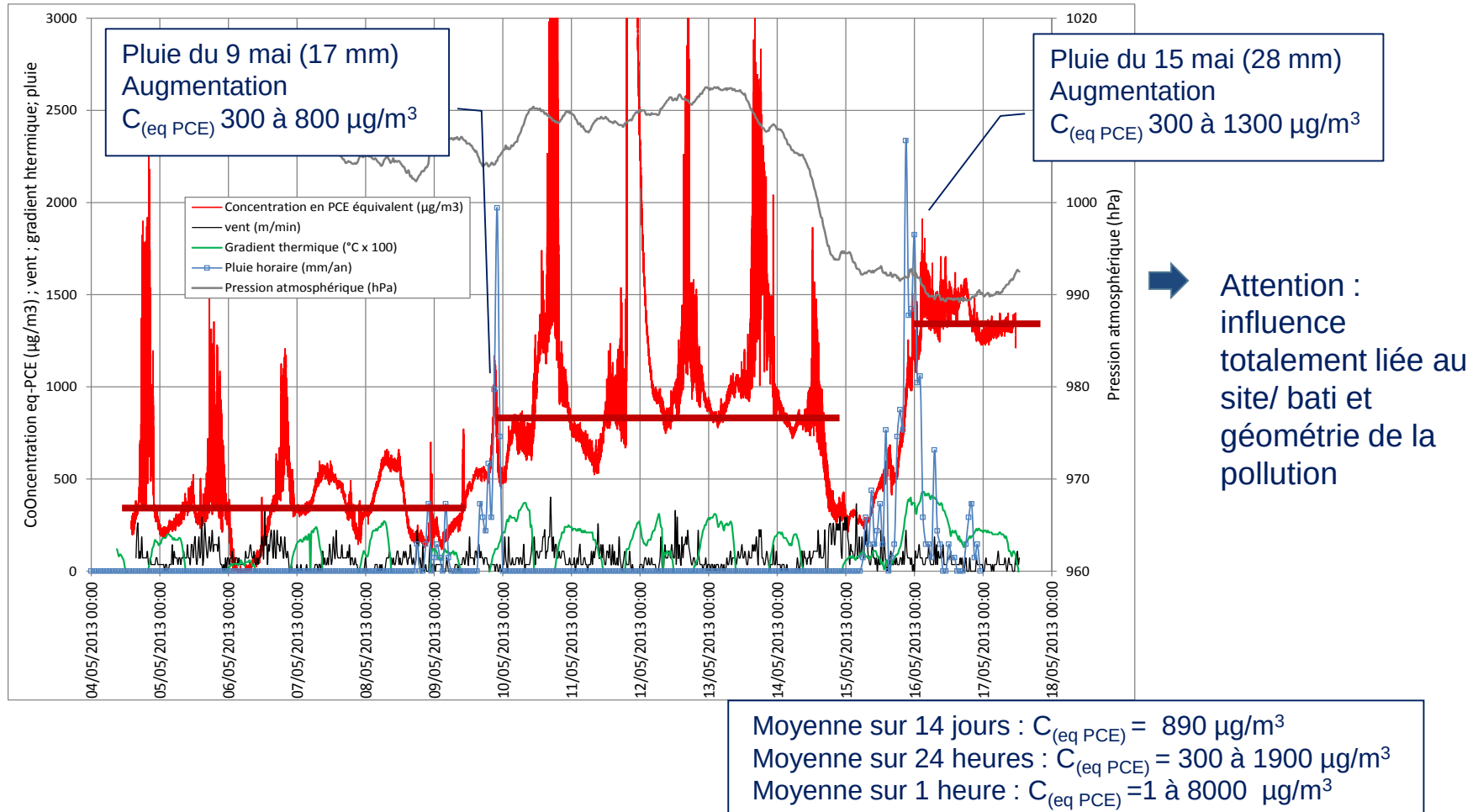
Influence du gradient thermique du vent



- ➔ Gradient thermique de 15 °C → dépression (intérieur-extérieur) de 4 Pa
- ➔ ↗ de la concentration d'un facteur 2

➔ Nécessité de connaître le gradient thermique *et le dP*
Nécessité de connaître le vent (si bâtiment perméable / ventilation naturelle / fenêtres ou portes ouvertes)

Influence jour/nuit et de la pluie



Nécessité de connaître la pluie avant/ durant les prélèvements (15 j précédents)

Les diagnostics

Variation temporelle - Air intérieur

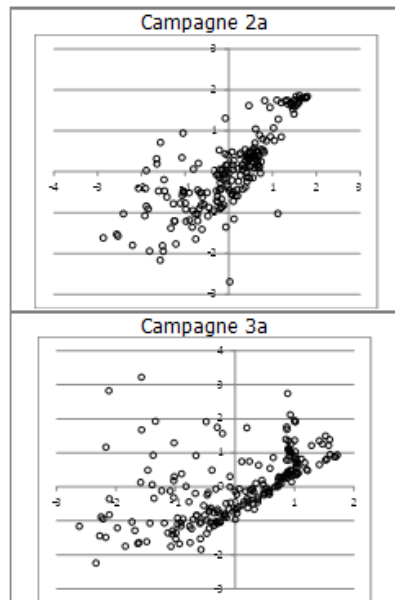
Influence du gradient thermique

Lien avec la dépression AI-GdS

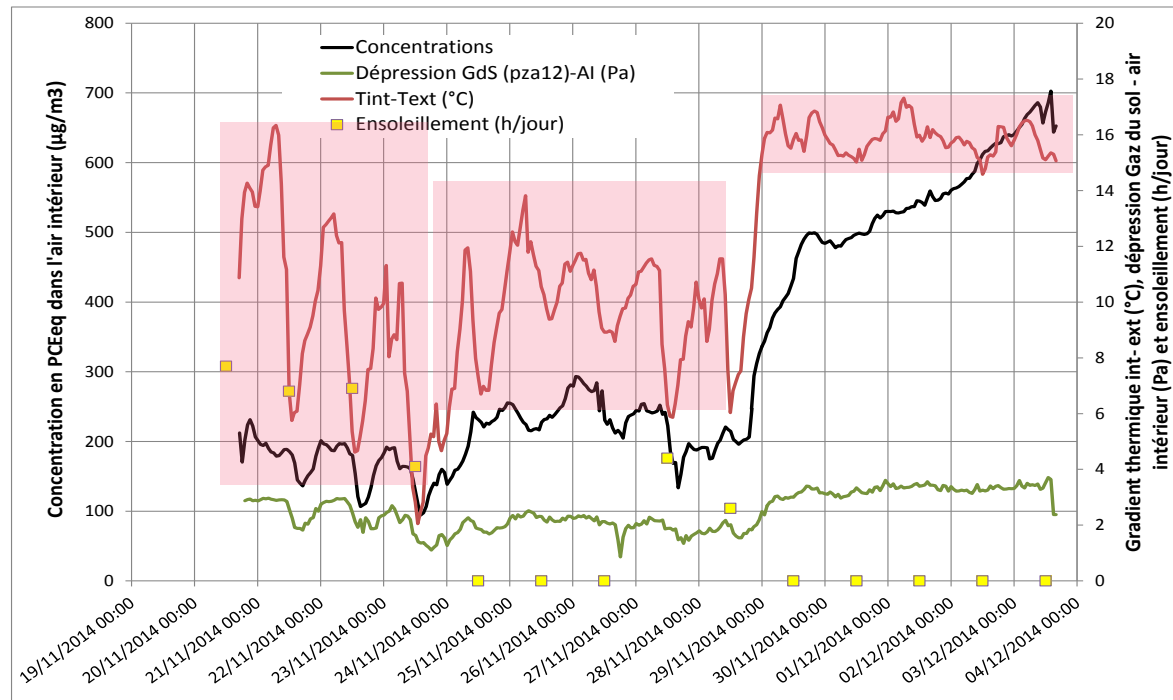
- Chauffage et dT de 12 °C conduit à une dépression dP_{AI-GdS} de 2-3 Pa
- Cyclicité diurne
↑ la nuit et ↓ en journée
- Chute des T_{ext} → stabilité du dT et du dP

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)



Les diagnostics

Représentativité de mesures - Air intérieur

Appréciation de cette représentativité nécessite la connaissance :

- du bâtiment (réseaux, vide sanitaire...)
- des systèmes de ventilation et de leur fonctionnement,
- des pratiques (ouvrants...) de la régulation de la ventilation (horaire, présence...),
- des éventuelles sources internes (revêtements...) ou externes (trafic...)
- des fréquences d'exposition ...



une bonne connaissance du système et des pratiques / conditions environnementales pendant les mesures

-> Plusieurs campagnes de longue durée (donc en mode passif)

Aller plus loin :

- *Guides : BRGM-INERIS, 2016; Fluxobat, 2013, etc.)*
- *Normes : XP X43-402 (1995) & NF EN ISO 16000-5*

Bâtiment existant

1. Schéma de fonctionnement du système

- Source ; transfert et panache; influence des variables; influence **du bâtiment, de ses systèmes et des pratiques**
- Hétérogénéités spatiales et temporelles
- Confrontation des concentrations gaz du sol - air intérieur

2. Discussion dépendant de l'objectif ...

A minima Comparaison aux concentrations mesurées dans l'Air intérieur & VGAI

Nécessité ou non de mesures de gestion



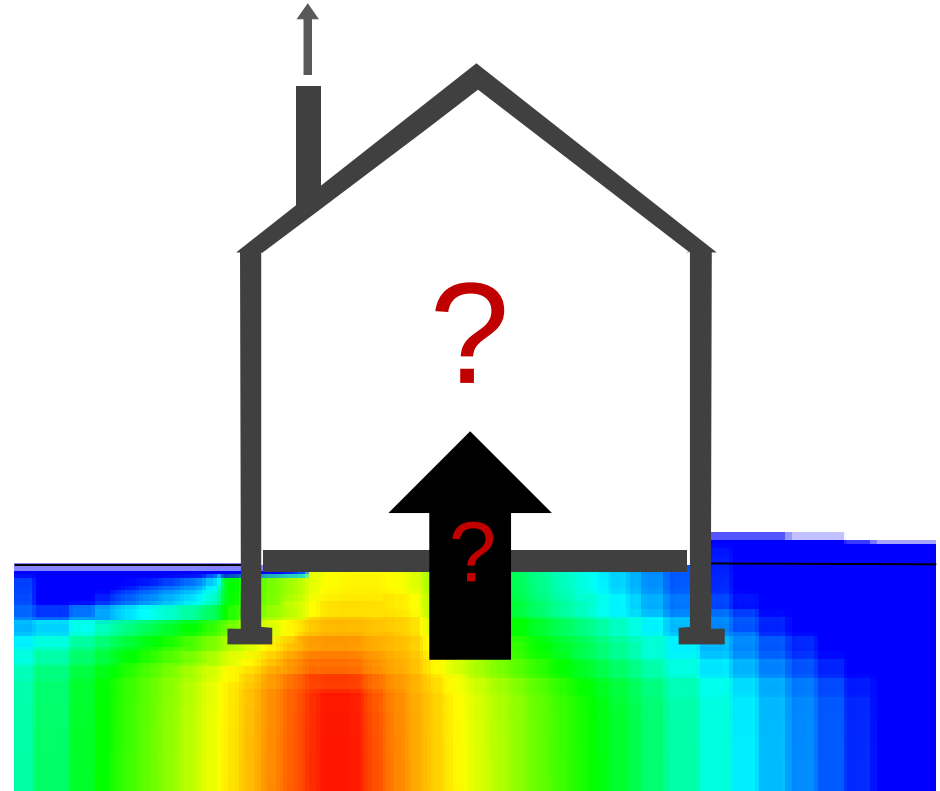
La modélisation

Lien entre les GdS et l'air intérieur

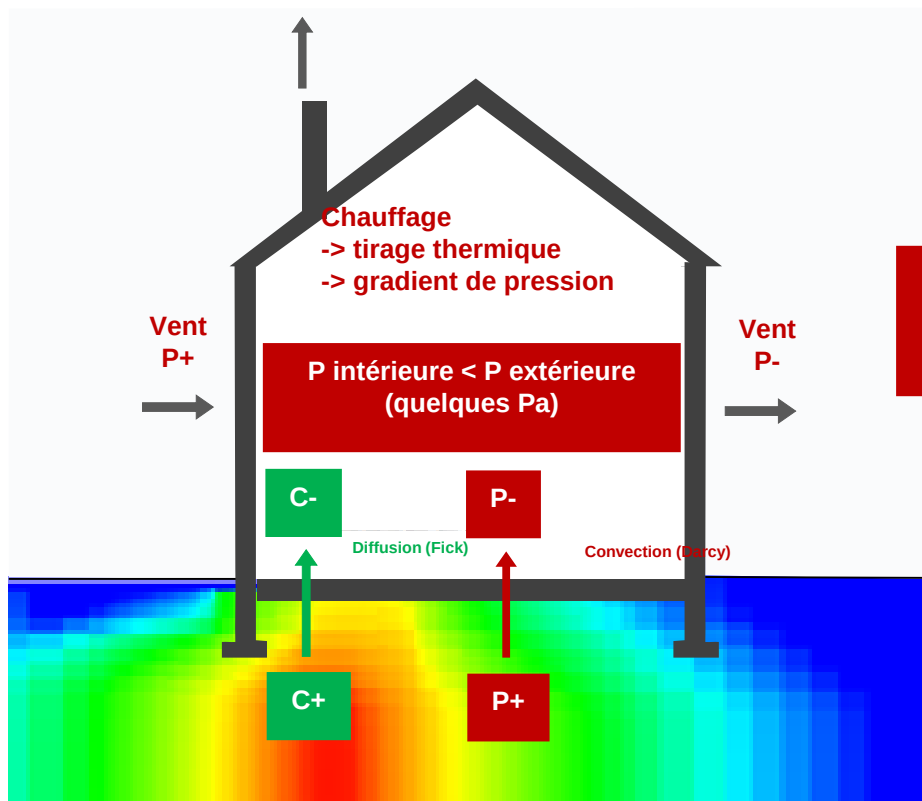
Faire le lien entre la pollution du sol et l'impact sur la qualité de l'air intérieur



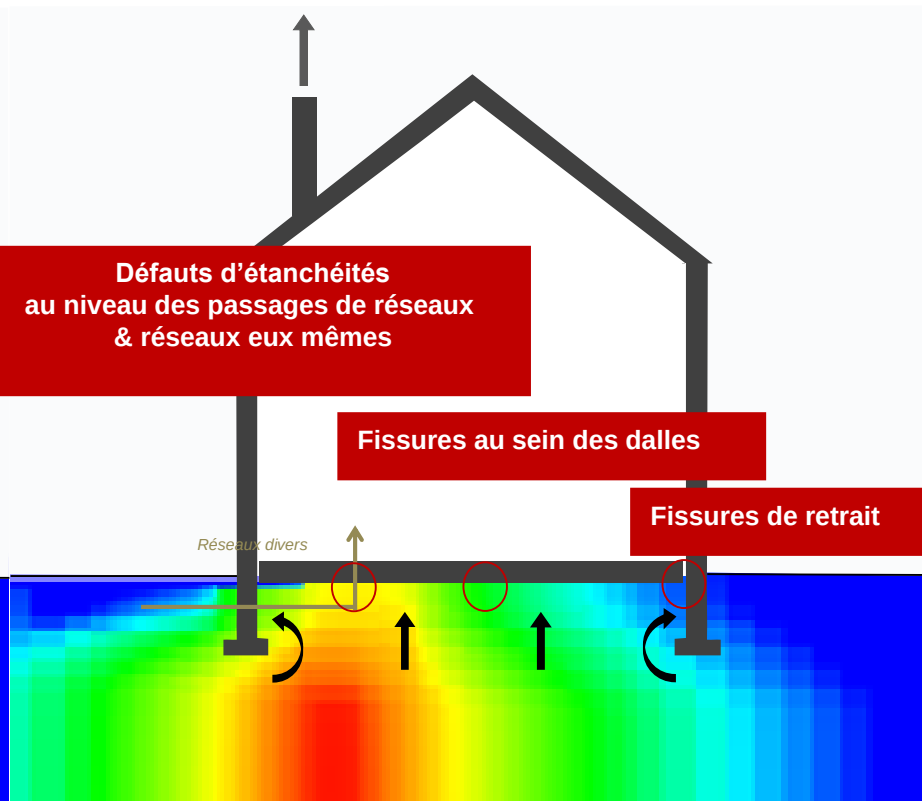
Besoin de modélisation
Interprétative ou prédictive



Raisons des transferts ?



Localisation ?



En fonction des objectifs

Y a –t-il un impact potentiel dans l'Air
(1^{er} schéma conceptuel)

➤ Modélisation simple : **facteurs alpha**

Evaluation des impacts potentiels
(dont EQRS)

➤ Modélisation par **facteur alpha** en l'absence d'information sur bâtiment

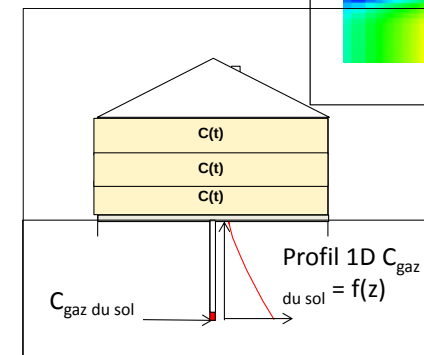
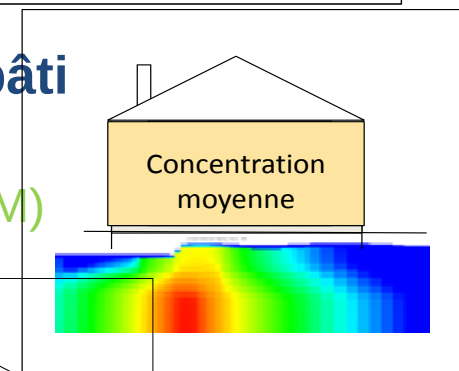
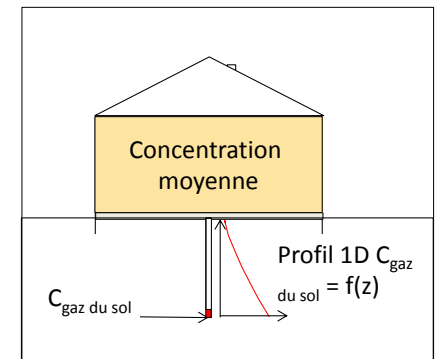
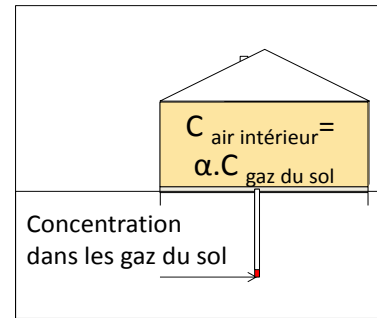
➤ Modélisation 1D (avec informations sur les bâtiments)

Compréhension des transferts en ZNS et vers / dans le bâti
(situations complexes à enjeu, nécessitant données !)

➤ Modélisation 2D ou 3D ZNS/ZS (modflow surfact, feeflow, CubicM)

➤ Modélisation nodale AI (contam, trnsys...)
intérêt dans le transitoire ou de zones entre elles

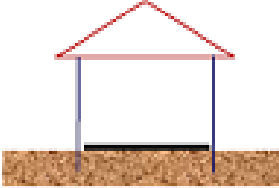
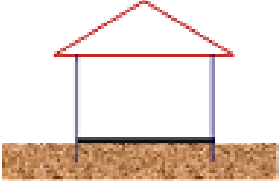
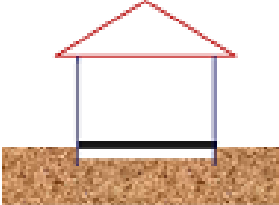
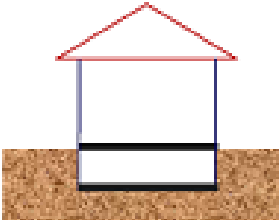
➤ Modélisation 2D ou 3D de l'air intérieur (Fluent...)



La modélisation

Modèles 1 D verticaux

Plusieurs modèles conceptuels

Géométrie du soubassement		Représentation de la dalle et modèle
	Sans vide sanitaire ni cave Dallage indépendant	Fissure de retrait : Johnson & Ettinger (1991), Yao & al. (2011), Bakker & al. (2008)
	Sans vide sanitaire ni cave Dalle portée ou radier	Fissures réparties : Bakker & al. (2008) Milieux poreux équivalent : Bakker & al. (2008)
	Vide sanitaire Dalle portée ou radier	Fissures réparties : Waitz & al. (1996), Bakker & al. (2008)
	Cave Dallage indépendant, dalle portée ou radier	Fissure de retrait : Johnson & Ettinger (1991) Fissures réparties : Waitz & al. (1996), Bakker & al. (2008) Milieux poreux équivalent : Bakker & al. (2008)

La modélisation

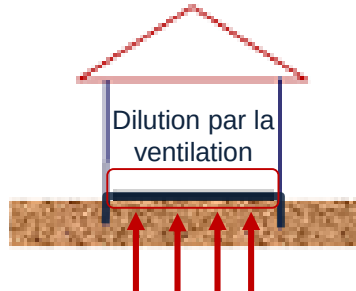
Modèles 1 D verticaux

Modèle 1D

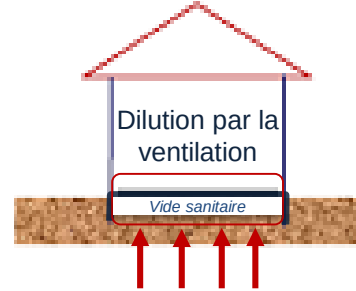
basés sur des hypothèses constructives



Johnson & Ettinger, 1991
Dallage indépendant



Bakker, 2008
Dalle portée



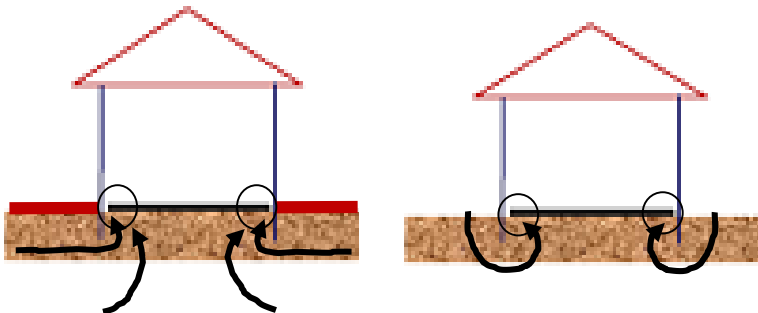
Waitz et al. 1996
Dalle portée sur VS

?

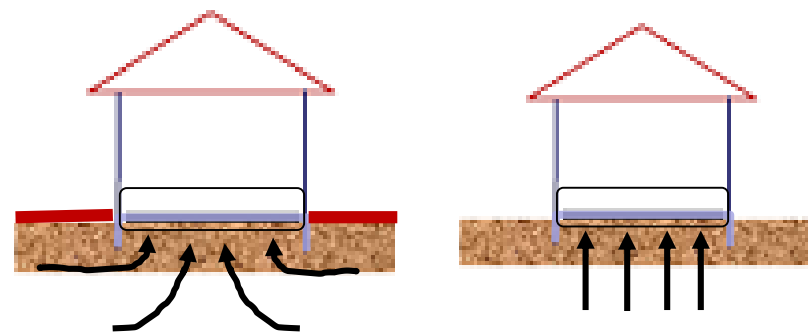
Que choisir quand :

- Modes constructifs inconnus
- Ventilation des espaces inconnus
- ...

Non prise en compte de l'environnement des bâtiments



Réalité urbaine - modèle analytique



Réalité urbaine - modèle analytique

La modélisation

Facteurs d'atténuation

Portée des facteurs d'atténuation

- Connaissance parfois limitée des caractéristiques du bâtiment et de sa ventilation
- Nécessité d'une approche proportionnée dans les interprétations et calculs

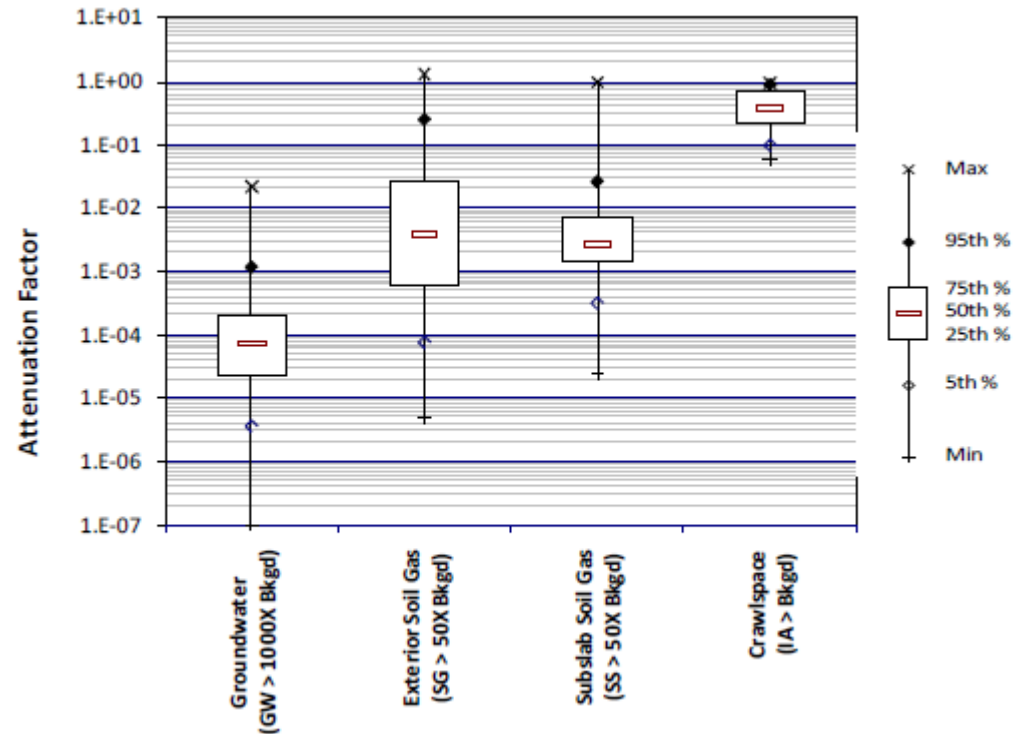
$$C_{air\ intérieur} = \alpha C_{gaz\ du\ sol}$$

Aux Etats Unis

- Base de donnée EPA sur les couples GdS-AI (ci-contre)
- Guides de gestion des pollutions reposant en partie sur ces facteurs

En France

- Recommandations dans le GM MEEM (2017)



La modélisation

Facteurs d'atténuation

Valeurs recommandées aux Etats Unis

Usage considéré / Source considérée	Bâtiment à usage résidentiel	Bâtiment à usage commercial
Gaz des sols sous dalle (subslab)	0,014 MADEP 0,03 OSWER 0,05 DTSC	0,014 MADEP - -
Gaz des sols à une distance donnée du bâti (pas nécessairement en dessous du bâti)	0,03 OSWER (à + de 1,5m) 0,002 Santé Canada * (1m)	- 0,0004 Santé Canada * (1m)
Air du vide sanitaire	1 OSWER 1 DTSC	- -
Au contact des eaux souterraines ou de la source de contamination pour DTSC, 2011	0,001 OSWER 0,001 à 0,002 DTSC 0,001 Santé Canada ** (5m)	- 0,0005 à 0,001 DTSC 0,0002 Santé Canada ** (5m)

* traduit des graphiques proposés par Santé Canada établis pour différentes lithologies (la valeur maximale est reprise dans le tableau) et fonction de la profondeur de la mesure (la profondeur considérée est affichée)

**TABLEAU 29 –FACTEURS D'ATTENUATION RETENUS PAR DIFFERENTS GUIDES AUX ETATS UNIS ET AU CANADA
(MADEP, 2011 ; DTSC, 2011 ; OSWER, 2015 ; SANTE CANADA, 2010)**

La modélisation

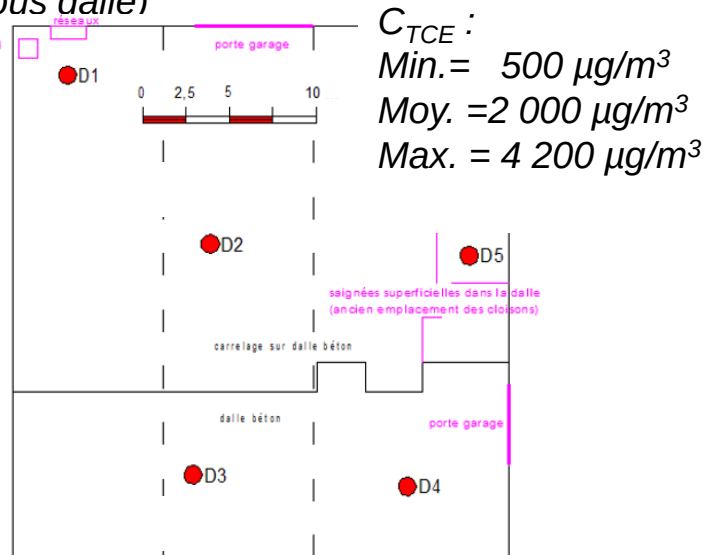
Facteurs d'atténuation

Illustration d'application pour la gestion de deux sites

Site A (700 m²)

- Projet : Reconversion d'un bâtiment en salle de sport
- Objectif étude : Diagnostic et estimation de la faisabilité financière de la reconversion
- Panache de pollution par COHV (source hors site)

2 campagnes GdS
(sous dalle)



Site B (8000 m²)

- Projet: Construction de bureaux
- Objectif étude : Réalisation du Plan de gestion au stade programme (absence des éléments de conception)
- Remblais globalement dégradés (hydrocarbures)

3-4 campagnes GdS
(piezair à 1m)

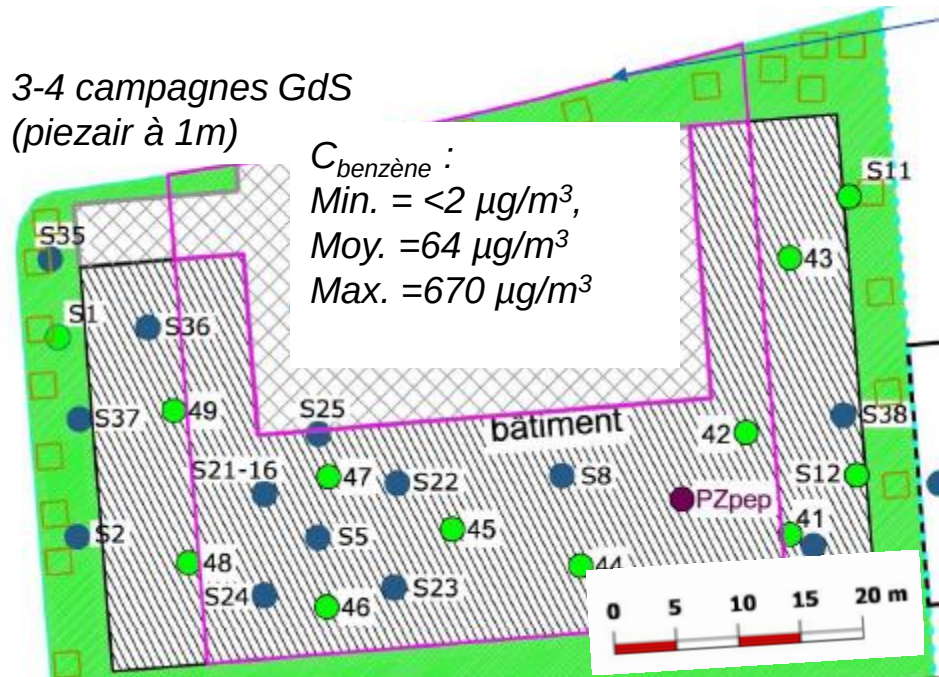


Illustration d'application pour la gestion de deux sites

Connaissance des projets

- Site A : dalle portée, aménagements intérieurs (cloisonnement, usages) non définis
- Site B : stade programme donc limitée au-delà des usages et respect de la réglementation

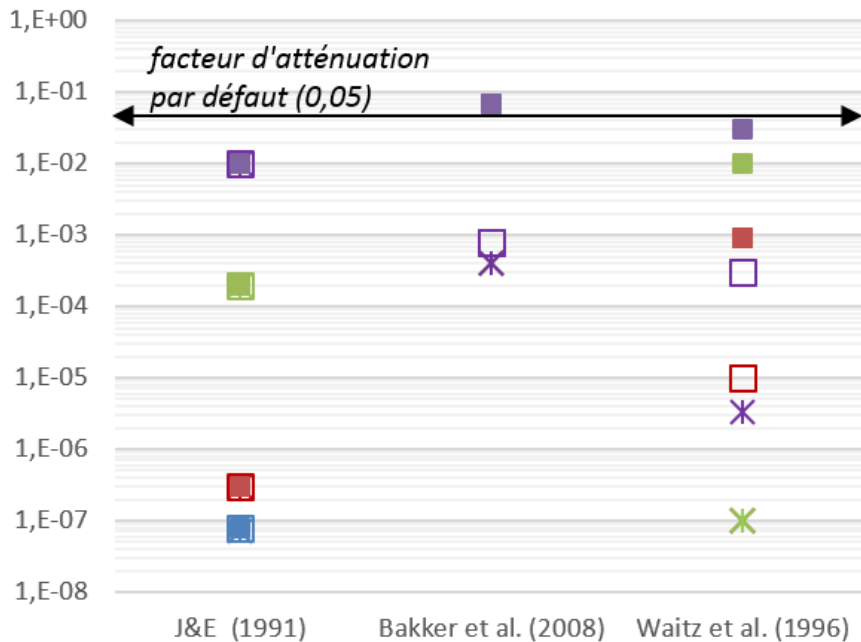
Estimation des impacts potentiels & mesures de gestion préconisées

	Site A (700 m ²)	Site B (8000 m ²)
Polluant	TCE	Benzène
VGAI (µg/m ³)	20 (voire 2)	2
CAI estimée (µg/m ³)	Moy. = 100 Max. = 210	Moy. = 3 Max. = 33
Problématique de gestion des impacts	Oui (source hors site!)	Potentielle
Recommandations	-> conception -> réception -> exploitation (suivis C°, entretiens CVC)	-> conception (yc reprise EQRS) -> travaux -> réception -> exploitation

La modélisation

Facteurs d'atténuation & modèles 1D

Comparaison avec des résultats de modélisations 1D



- ✕ $K_{dalle2.10-15}(m^2) + K_{sol} 10^{-18} (m^2)$
- ✖ $K_{dalle2.10-15}(m^2) + K_{sol} 10^{-15} (m^2)$
- ✱ $K_{dalle2.10-15}(m^2) + K_{sol} 10^{-12} (m^2)$
- ✱ $K_{dalle2.10-15}(m^2) + K_{sol} 10^{-9} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-13}(m^2) + K_{sol} 10^{-18} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-13}(m^2) + K_{sol} 10^{-15} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-13}(m^2) + K_{sol} 10^{-12} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-13}(m^2) + K_{sol} 10^{-9} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-11}(m^2) + K_{sol} 10^{-18} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-11}(m^2) + K_{sol} 10^{-15} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-11}(m^2) + K_{sol} 10^{-12} (m^2)$
- $K_{dalle2.10-11}(m^2) + K_{sol} 10^{-9} (m^2)$

Dalle

	$K_i (m^2)$	Qualité de dalle selon Waitz et al. (1996)
■	2,E-11	qualité moyenne
□	2,E-13	bonne qualité
✱	2,E-15	très bonne qualité

Nature des sols

	$K_i (m^2)$	Nature des sols
■	1,E-18	Argiles très peu perméables
■	1,E-15	Argiles silteuses ($K_w : 10^{-8} m/s$)
■	1,E-12	Sables fins / limons ($K_w = 10^{-5} m/s$)
■	1,E-09	Graviers ($K_w = 10^{-2} m/s$)

Conséquences significatives du choix de l'outil et des paramètres

- α : Approche précautionneuse pour bâtiments non/trop peu connus
- Modèles 1D : Approche plus adaptée quand les futurs bâtiments sont connus (mais attention aux incertitudes liées aux paramètres introduits, à la géométrie de la pollution...)

Paramètres majeurs

- mode constructif : *recueillir auprès du Maître d'ouvrage ou maître d'oeuvre*
- perméabilité / diffusivité de la dalle : *valeurs de la littérature*
- système de ventilation et leur entretien (débits, pertes de charge...): *recueillir auprès du Maître d'ouvrage ou maître d'oeuvre*

Perméabilité / diffusivité de la dalle

Qualité de dalle	Surface totale d'ouvertures dans la dalle de 50 m ² (m ²)	Fraction d'ouvertures dans la dalle fof (-)	Perméabilité effective à l'air κ_f (m ²)
Très mauvaise**	0,01	0,0002	$8 \cdot 10^{-9}$
Mauvaise *	0,005	0,0001	$2 \cdot 10^{-9}$
Normale	0,0005	0,00001	$2 \cdot 10^{-11}$
bonne	0,00005	0,000001	$2 \cdot 10^{-13}$
Très bonne	0,000005	0,0000001	$2 \cdot 10^{-15}$

* Valeur par défaut recommandée par Bakker et al. 2008 en l'absence de connaissance de la dalle

** correspondant à un plancher bois ou des dalles fendues

TABLEAU 38 –GEOMETRIE DE FISSURE REPARTIES ET PERMEABILITE EQUIVALENTE DE DALLE (A PARTIR DE BAKKER ET AL., 2008 HORS FISSURE PERIPHERIQUE)

- Concernant la diffusion, les travaux conduits dans Fluxobat (Musielak, 2012 et Marzougui, 2013) ont permis d'estimer des rapport D_0/D_{eff} entre 360 et 600

Systèmes et débits de ventilation

- **Ventilation naturelle**

-> *débits de ventilation liés au vent et position des bouches : théorique*

- **Ventilation mécanique contrôlée Simple flux**

-> *débits minimum dépendant du système (Réglementation Française) : auto ou hygroréglable*

-> *insufflation (peu répandu en France)*

-> *extraction (largement répandu en France en Hygroréglable pour l'habitation) : dépression du bâtiment*

- **Ventilation mécanique double flux**

-> *maîtrise des débits entrants/sortant mais entretien / maintenance plus complexe : perdurance des débits et de l'équilibrage des pressions*

-> *très répandu dans le tertiaire en France*

-> *modulation fonction de la présence (horaire ou CO2) est de plus en plus répandu*

Du débit au renouvellement d'air

- Renouvellement d'air dépendant du bon balayage des espaces
- Incertitude sur son évaluation par simple intégration des débits sur le volume

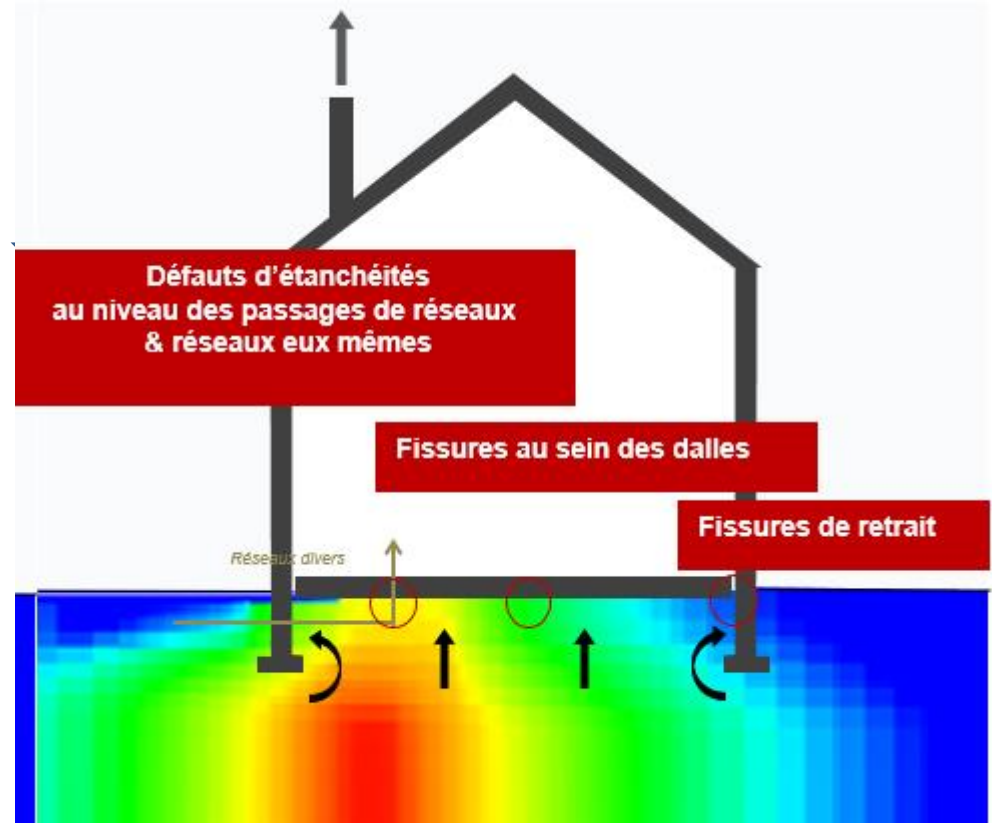
Multiplicité des modèles
conceptuels

&

Incertitudes sur les
paramètres



Outil d'aide à la décision
&
ne peuvent sauf
exception représenter la
réalité



Les diagnostic et la modélisation

Conclusion

Complexité des phénomènes et de leur couplage

- Approche proportionnée et progressive réinterrogeant toujours l'objectif recherché
- Compréhension globale du système nécessaire pour tenir compte de la variabilité temporelle et spatiale
- Conduite de plusieurs campagnes incluant les conditions environnementales pour une interprétation sur la représentativité

Pour aller plus loin

- Guides méthodologiques : Fluxobat (2013) www.fluxobat.fr , BRGM-INERIS (2016)
- Livrables publics de projets de recherche conduits / en cours par BURGEAP (FLUXOBAT, TEMPAIR, EFEMAIR, CAPQAI) : <http://www.burgeap.fr/index.php/fr/innovations>
- Logiciel OREOS : <http://www.burgeap.fr/index.php/fr/innovations>

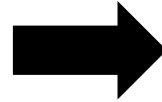
Pause & questions

s.traverse@burgeap.fr



Introduction

La gestion par la dépollution (traitement de la source) est un préalable

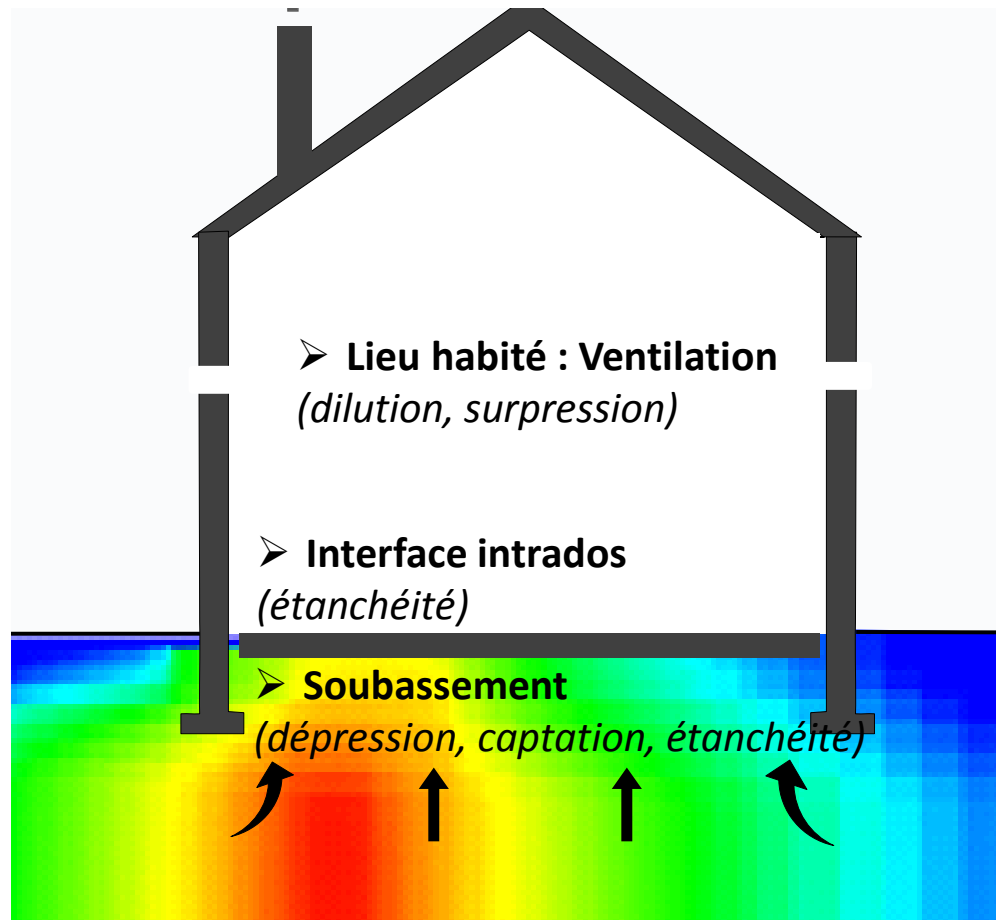


La gestion sur les bâtiments concerne les pollutions résiduelles (non traitables)

1. Mode de gestion et critères de choix
2. Efficacité
3. Etudes de faisabilité
4. Acteurs du bâtiment, enjeux et bonnes pratiques

Gestion des impacts

Modes de gestion

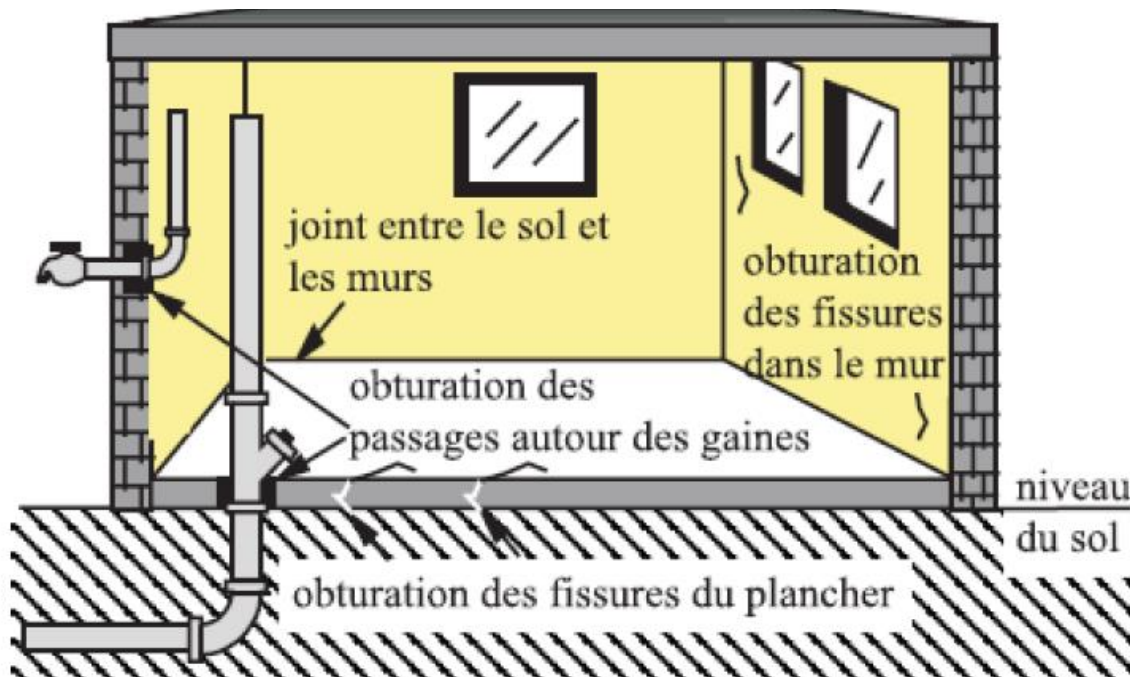


Etanchéité au niveau des passages singuliers

Neuf et réhabilitation

Concerne les sols et les murs

- Traitement par joints (dilatation, passage de réseau) dans le neuf
- Traitement par colmatage + joints pour la réhabilitation



Etanchéité intrados spécifique

Neuf et réhabilitation

Concerne les sols et les remontées sur les murs

- Traitement par résines étanches (type epoxy)
- En cours de construction possible géomembrane sous la chape

Avantage par rapport à l'extrados : son accessibilité (réfection)

Désavantage par rapport à l'extrados : contraintes d'usage (percement)

Traitement des points singuliers primordiale



Etanchéité extrados (identique à la gestion des remontées de nappe)

Neuf

Concerne les sols et parois

- Géomembrane (PEHD)
- Géomembrane bitumineuse
- ...

Procédés à base d'argile sont incertains en termes d'efficacité

Traitement des points singuliers primordiale



Figure 11. Spraying an emulsified asphalt latex barrier.



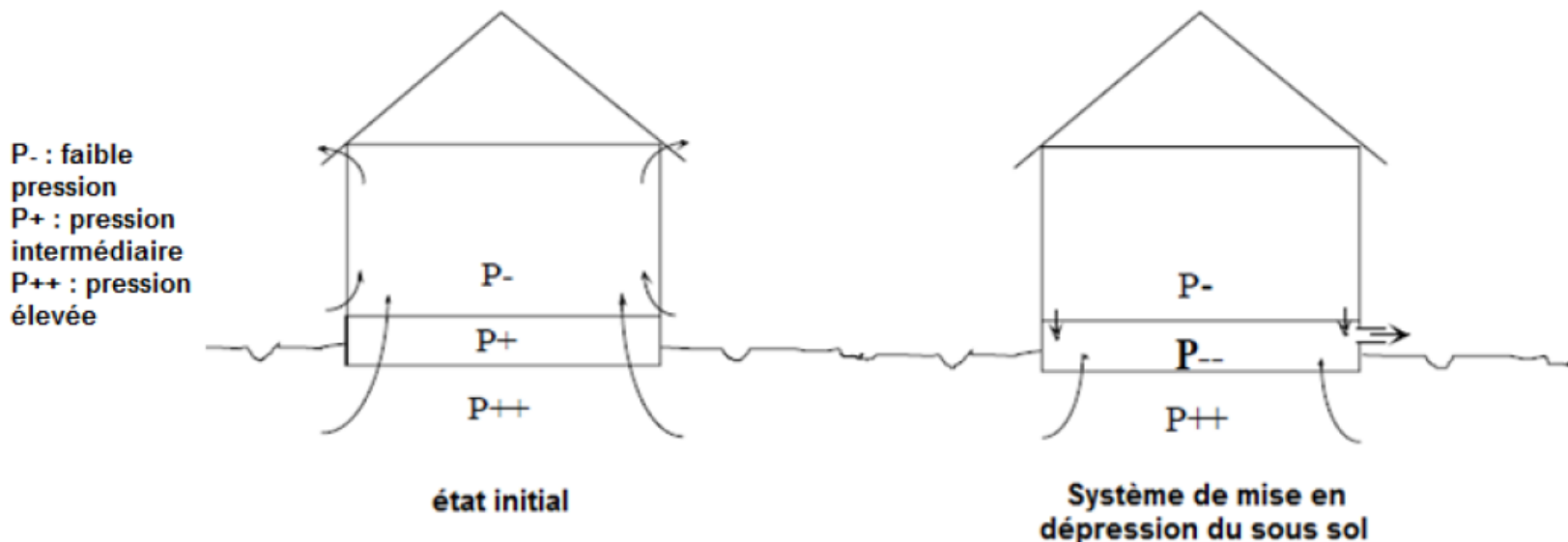
Traitement du soubassement au-delà de l'étanchiété

Neuf et réhabilitation

Ventilation (dilution et dépression) naturelle ou mécanique

S'applique sur : sols sous dalle (SDS) / vide sanitaire / cave

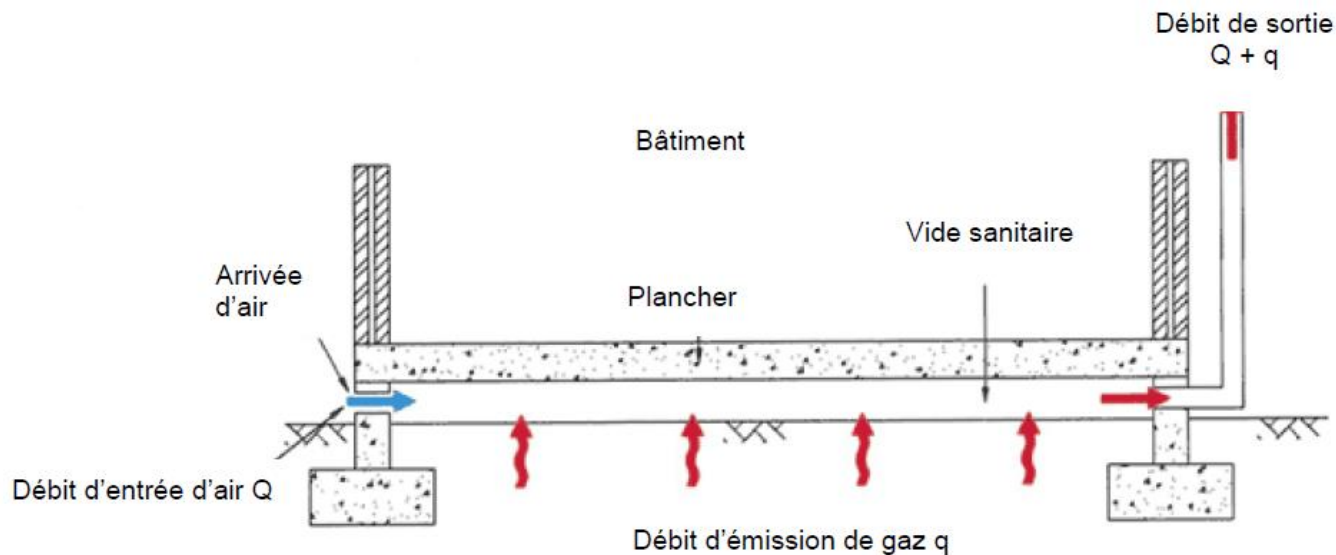
Couplage possible avec système d'étanchéité



Traitement du soubassement au-delà de l'étanchiété

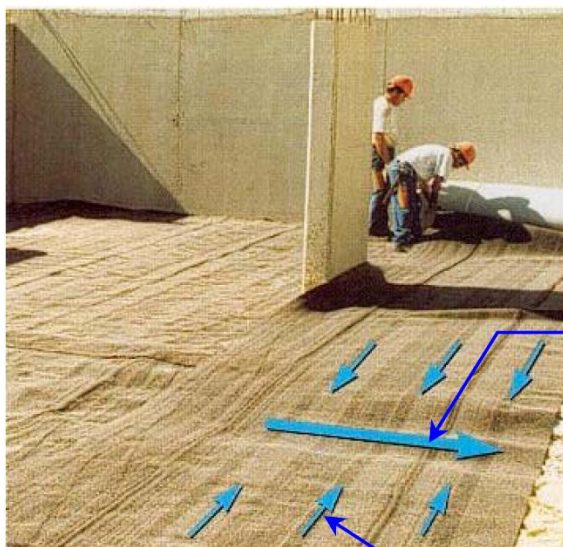
Vide sanitaire

! Dimensionnement de la ventilation naturelle



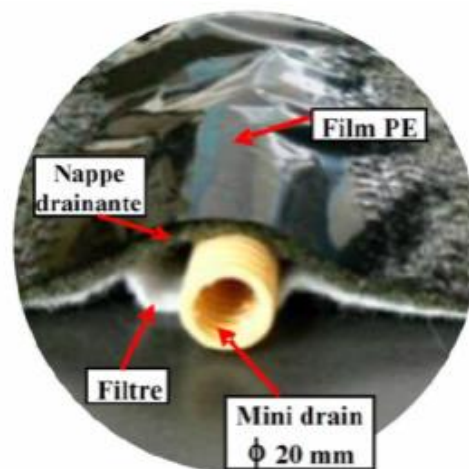
Traitement du soubassement au-delà de l'étanchiété

Sols sous dalle



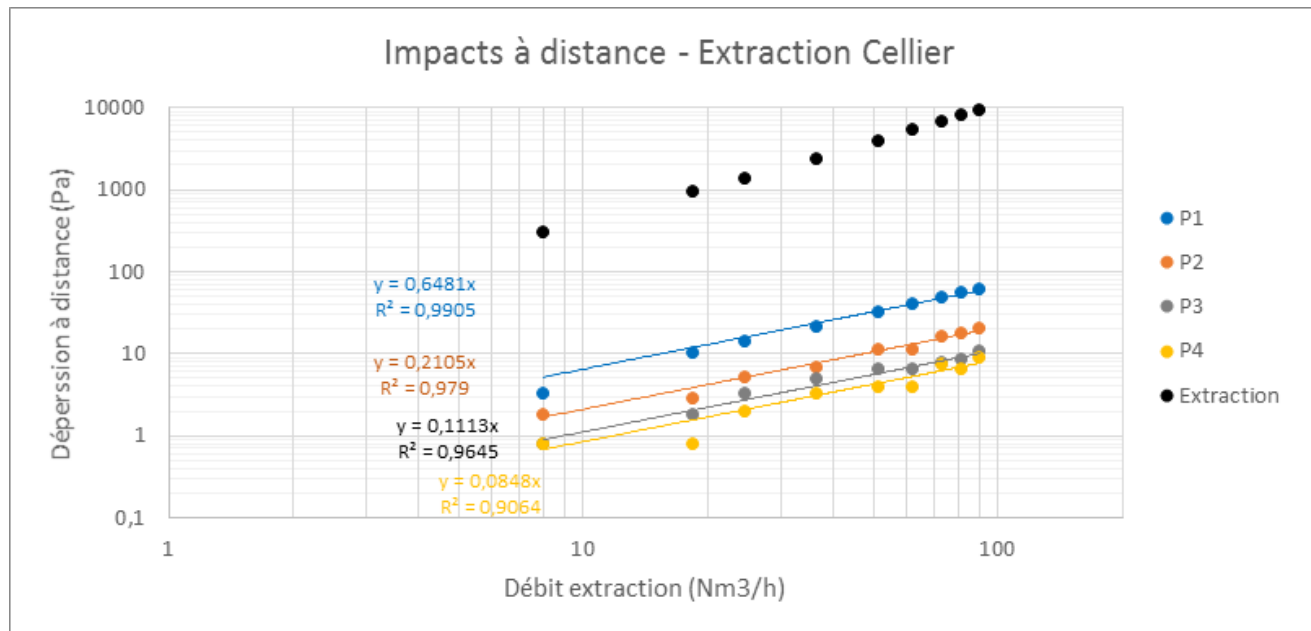
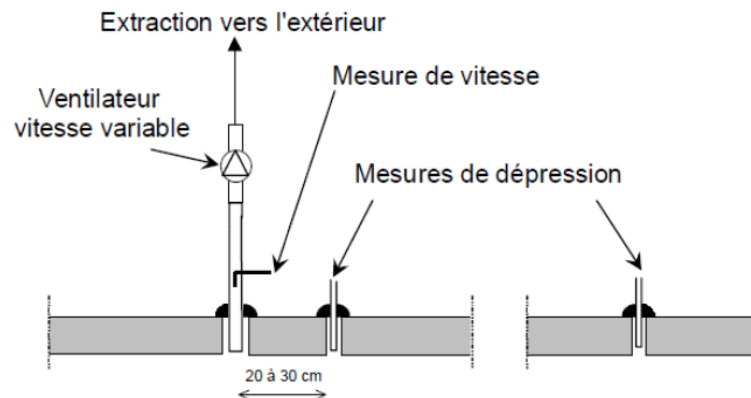
Tranchée
drainante

Mini-drain



Traitement du soubassement au-delà de l'étanchiété

Nécessite des essais
pilotes en réhabilitation

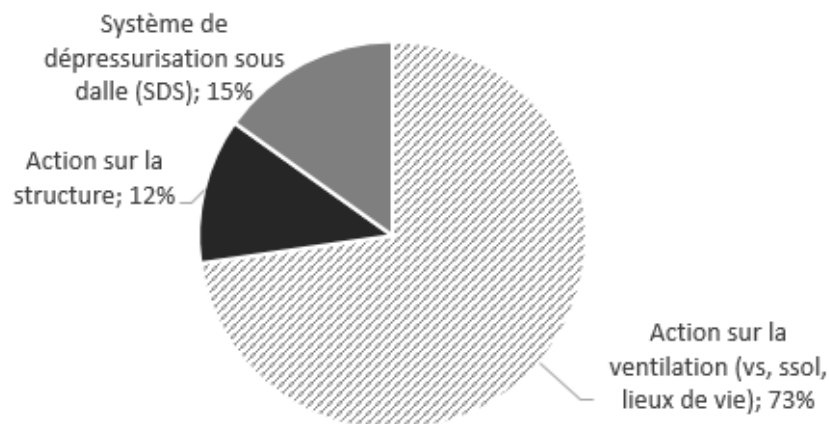


Critères sous l'angle de l'efficacité

1. Action sur les Systèmes et Élément de structure

- Efficacité fortement liée à la bonne mise en œuvre
- Phase chantier critique et réceptions primordiales
- Risques structures : mise en œuvre, vieillissement et action de l'occupant (percement)
- Risques systèmes : action de l'utilisateur non maîtrisé (confort et incidence énergétique...) et modification des usages (cloisonnement, changement de destination des locaux)

Résultat Enquête web réalisée dans le cadre du projet BATICOV (en cours) auprès de maîtrise d'ouvrage en France sur les dispositifs déployés

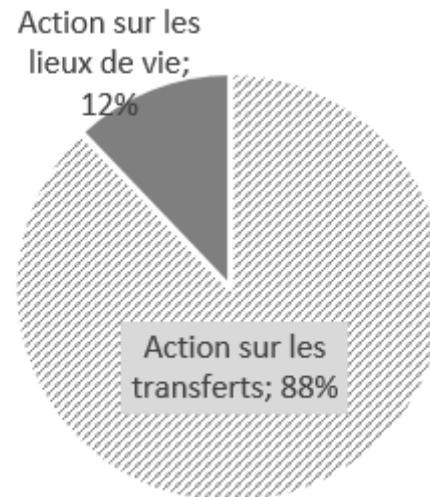


Critères sous l'angle de l'efficacité

2. Action sur les lieux de vie versus lieux de transfert

- Privilégier la diminution des transferts à la dilution des concentrations dans les lieux de vie
- Risques sur les lieux de vie : possible action de l'utilisateur non maîtrisée (critères de confort, consommation énergétique) et modification des aménagements ou des usages
- Sur les transferts : action de l'utilisateur plus limitée, risques dépendant des mesures de gestion déployées (système ou structure)

Résultat Enquête web réalisée dans le cadre du projet BATICOV (en cours) auprès de maîtrise d'ouvrage en France sur les dispositifs déployés

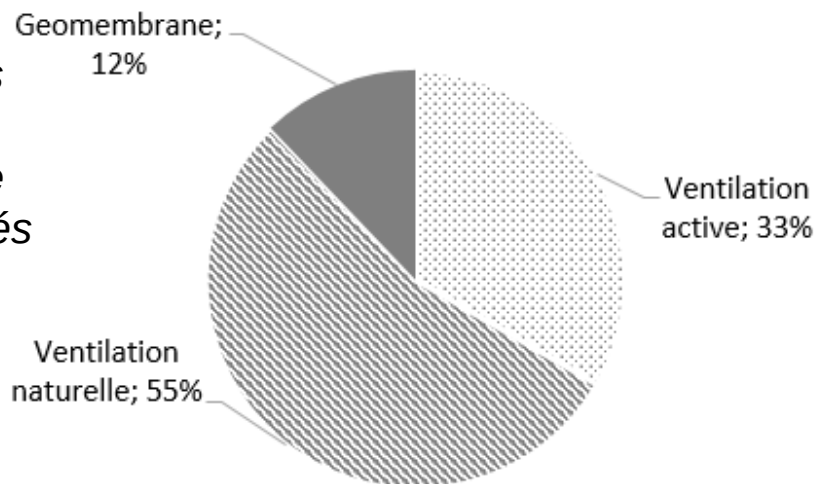


Critères sous l'angle de l'efficacité

3. Ventilation mécanique (actif) ou ventilation naturelle (passive)

- Efficacité dépendante de la conception (débits effectifs, balayage) de la bonne mise en œuvre
- Risques liés à l'action de l'utilisateur non maîtrisé (critères de confort, consommation énergétique) et modification des aménagements ou des usages
 - + Actifs : Risques liés au besoin accru de maintenance,
 - + Passifs : Risques liés à des écarts entre débits théoriques et la réalité (sauf étude de conception poussée)

Résultat Enquête web réalisée dans le cadre du projet BATICOV (en cours) auprès de maîtrise d'ouvrage en France sur les dispositifs déployés



Critères sous l'angle de l'efficacité

Nouvelles constructions

Choix « sites spécifiques » en fonction des contraintes de construction, de l'avancement de la conception, de la connaissance de l'acquéreur ...



Acquéreur rarement interrogé, le coût est le principal levier

Réhabilitations

Choix « sites spécifiques » en fonction de l'existant, du degré d'efficacité, **de l'utilisateur et du commanditaire (rarement l'utilisateur)**



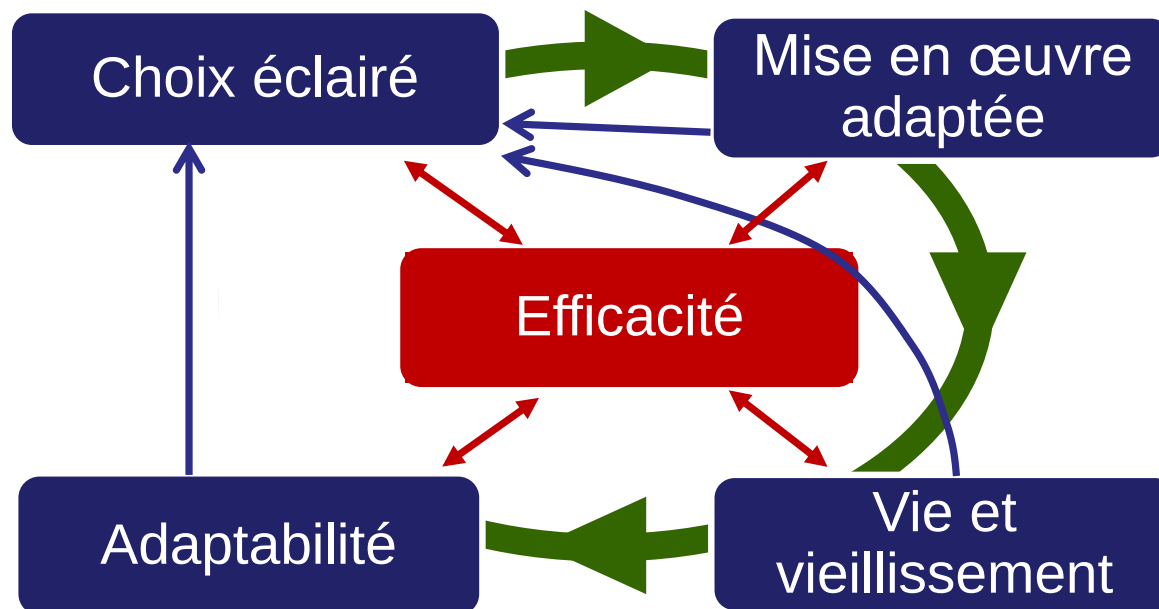
Écarts fréquents entre l'étude de conception et la mise en œuvre
lié à un utilisateur n'appréhendant pas les incidences des
techniques choisies

Gestion des impacts

Critères de choix et efficacité

Critères de choix devant intégrer la pérennité de l'efficacité dans la durée

Durable : « de nature à durer longtemps, qui présente une certaine stabilité, une certaine résistance »



EPA, 2016 vis-à-vis du radon

Technique	Réductions « typiques »
Dépressurisation active sous dalle ou en périphérie	50 à 99 %
Dépressurisation passive sous dalle	30 à 70 %
Ventilation naturelle du vide sanitaire	0 à 50 %
Traitement des voies de transfert à travers la dalle	NC car utilisé uniquement en complément d'autres techniques
Mise en surpression du bâtiment	50 à 99 %

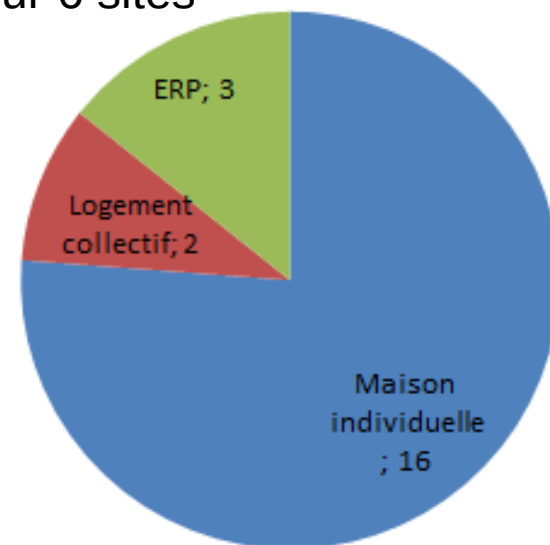
Analyse d'opérations de réhabilitation par l'ADEME

Combinaison de techniques déployées sur 22 bâtiments sur 6 sites
Pollution COHV et CAV

Typologie

Pourcentages

Ventilation du soubassement	naturel	33%
	mécanique	10%
Dépression naturelle du soubassement		10%
Etanchement interface sol/batiment		81%
Ventilation du bâtiment	naturel	57%
	mécanique	33%



Efficacités dépendantes du site et du bâtiment

- 35% permettant de réduire les concentrations < Valeurs de référence
- 50% efficacité insuffisante : concentrations > Valeurs de référence
- 15 % contre-performance

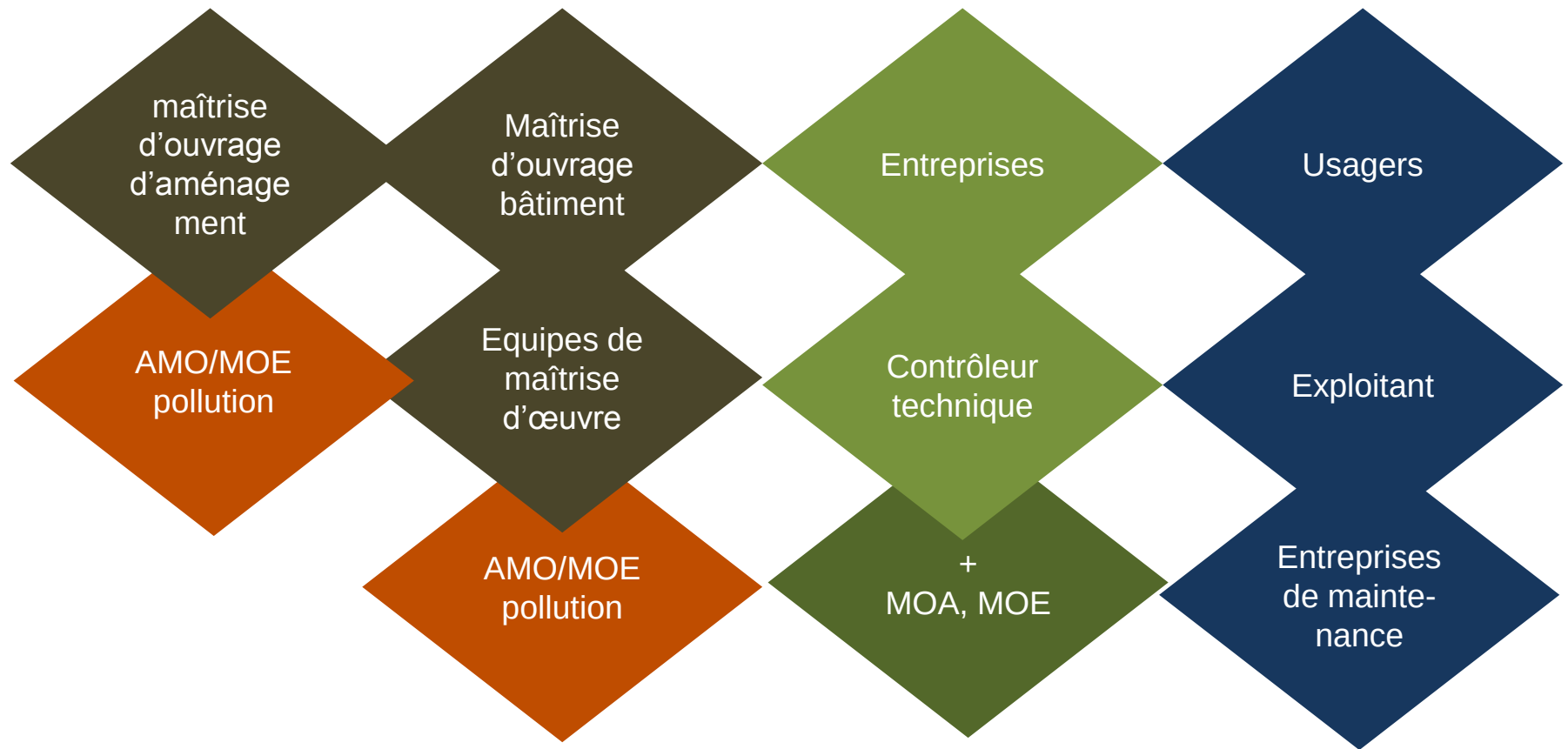
Résultats du projet BATICOV (en cours)

Difficultés identifiées



Ecarts entre conception et mise en œuvre
Représentativité des mesures de concentrations

Multiplicité des acteurs de la construction et de l'exploitation
Impliqués pour assurer l'efficacité



Gestion des impacts

Action à chaque phase de construction

CESSATION D'ACTIVITÉ

Ancien exploitant,
Propriétaire, BET SSP,
Administration

- Etat des lieux site (administratif)
- Identification de la pollution, dépollution nécessaire, gestion de la pollution résiduelle
- Dossier de servitudes
- Détermination des engagements contractuels (cahier de charges, promesse acte vente etc.)

PROGRAMMATION

Aménageur, MOA, AMO
(SSP, HQE, QAI)
Administration
Exploitants bâtiment &
usagers

- Analyse de l'opportunité du projet / adéquation site-usage
- Identification de la nécessité de dispositions constructives
- Critères et processus de choix

CONCEPTION

MOA, MOE, AMO (SSP,
HQE, QAI),
Administration
Exploitants bâtiment &
usagers

- Choix techniques
- Dimensionnement
- Permis de construire / Attes
- Dossier de servitude
- Contractualisation avec les entreprises de construction *et d'exploitation*

Gestion des impacts

Action à chaque phase de construction

CONSTRUCTION

MOA, AMO (SSP, HQE, QAI), MOE, entreprises, BE contrôle...

- Marché des entreprises
- Mise en œuvre des dispositions
- Contrôles de mise en œuvre

RÉCEPTION & LIVRAISON

MOA, AMO (SSP, HQE, QAI), MOE, Administration, Entreprises, SPS, BE contrôle, Exploitants bâtiment & acquéreurs/usagers

- Réception : Vérification concentrations et fonctionnement des systèmes
- Mise en service /réglages éventuels
- Carnet de vie
- Manuel d'utilisation
- Manuel de maintenance

EXPLOITATION

Exploitants bâtiment & usagers
entreprises d'entretien
AMO HQE
& Garanties : MOA, MOE, entreprises

- Entretien & maintenance
- Surveillance
- Conservation de la Mémoire

Changement d'usage? ...

Cessation d'activité / potentialités du site

- Premières études portant sur les usages futurs sans connaissance précise des futurs bâtiments (emprises, modes constructifs, systèmes de ventilations, débits ...)
- Transferts de COV vers l'air intérieur et concentrations très dépendants de ces éléments,

-> Focus sur la dépollution à ce stade et les typologies de dispositions : Elles ne peuvent que rarement être arrêtées à ce stade

Du programme au dépôt du PC

- Contenu du PC généralement peu détaillé (dépend des collectivités)
 - A ce stade sont connus les éléments permettant d'établir le bilan « avantage/inconvénient » des différentes dispositions
- > Plan de gestion intégrant ces éléments techniques peu nombreux, approches « génériques »
- > Difficultés de communication entre acteurs MOE – AMO SSP



Verrous forts identifiés

- La temporalité des études
- La question des responsabilités
- La communication entre acteurs
- La représentativité des calculs réalisés

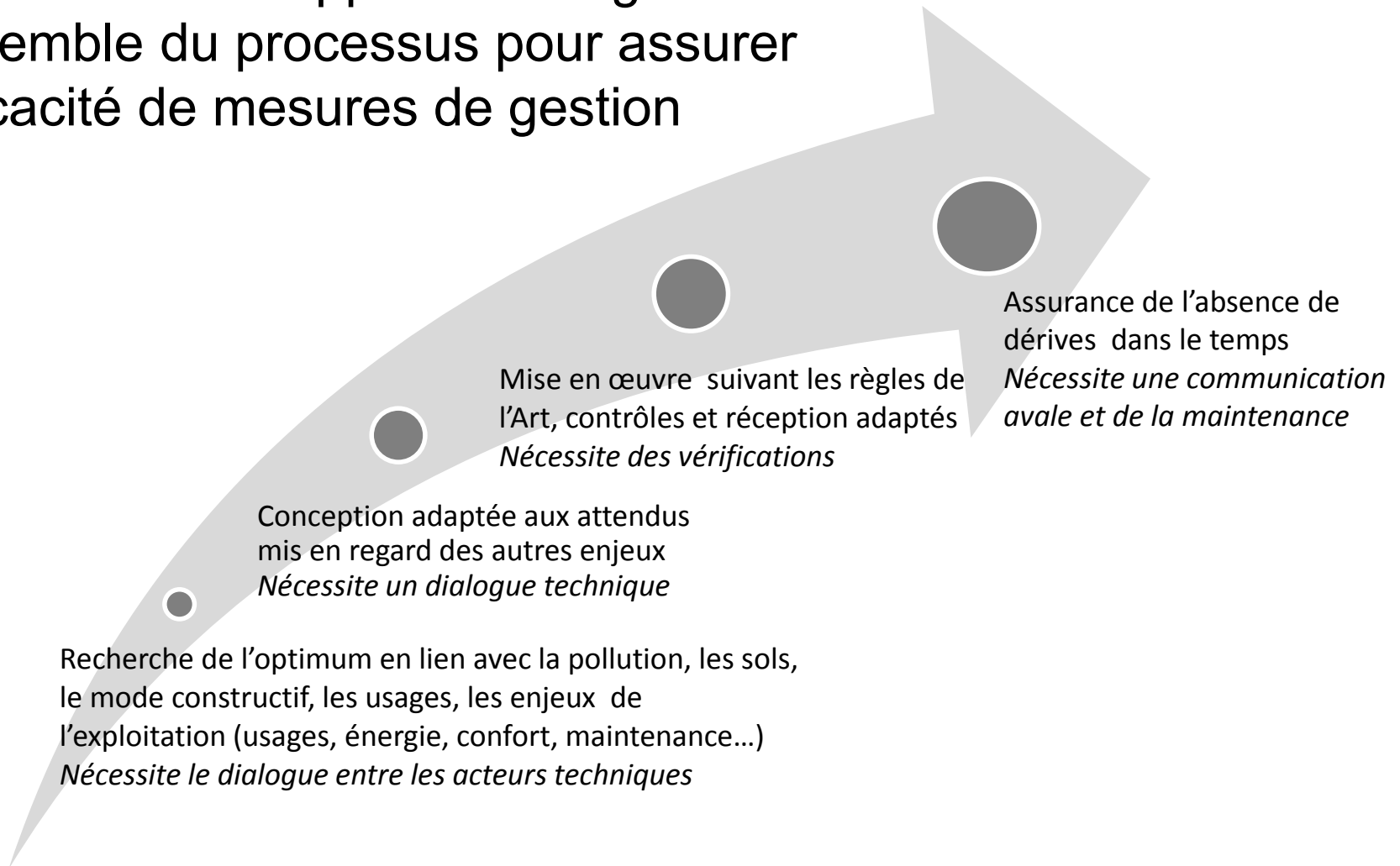
Efficacité associée à une mise en œuvre adaptée

- Vérifications (autocontrôles , contrôles externes, contrôles de réception) :
 - ✓ Ventilation : protocoles existants DIAGVENT, PROMEVENT...
 - ✓ Géomembrane : protocoles reposant sur l'étanchéité des lés et des singularités
 - ✓ ...
- Essais de fonctionnement pour le drainage ou SDS passif
- Prescriptions **du MOE** à retranscrire aux entreprises (CCTP et marchés)
- Suivi en phase chantier spécifique
- Continuité des acteurs entre la conception et la réalisation



**Aspects peu anticipés et pas toujours réalisés
(défaut de connaissance, de communication ...)**

Nécessité d'une approche intégrant l'ensemble du processus pour assurer l'efficacité de mesures de gestion



Pour aller plus loin

- Multiples Guides sur les dispositions constructives pour le radon : OMS (2009), EPA (1993), 2016), CSTB (2008)... pour les pollutions anthropiques : EPA (2012), BRGM (2014)...
- Livrables publics (2017) du projet BATICOV à venir :
<http://www.burgeap.fr/index.php/fr/innovations>

The background features a light gray grid with several circles of varying sizes. Some circles are solid, while others are dashed. A few circles have a quarter-section shaded with diagonal lines. The central part of the image is a solid blue vertical band.

Merci
de
votre
attention

s.traverse@burgeap.fr

 **GINGER**
BURGEAP