

Transferts et impacts associés au transport de polluants volatils des sols vers les bâtiments

Aspects réglementaires,
méthodologiques, dernières
avancées et retour d'expérience

Sylvie TRAVERSE (s.traverse@burgeap.fr)



Plan de l'exposé

- Contexte politique et réglementaire
- Quand suspecter des transferts de COV vers l'air intérieur
- Diagnostics associés à la prédiction ou au constat de ce transfert
- Développements en cours
- Mesures de gestion



Le contexte politique et réglementaire (1/2)

« reconquêtes des friches industrielles »

« lutter contre l'étalement urbain »

« politique de gestion des risques associés au passif industriel suivant l'usage »

Les Etablissements Sensibles (ETS)

- **Affaires médiatiques initiatrices** : Ancien site KODAK à Vincennes...
- **MEDDT** Circulaire sur l'implantation de nouveaux ETS (février 2007)
- **MEDDT** Opération nationale de diagnostic sur les établissements concernés situés au droit ou à proximité d'anciennes activités industrielles (2010-2015, 1600 à 2000 ETS concernés, budget estimé de 50 M€)



Le contexte politique et réglementaire (2/2)

- **ANSES (anc. AFSSET)** : définition de valeurs guides air intérieur (VGAI) pour 7 molécules
- **2^{ème} Plan National Santé Environnement** : le PNSE 2 décline la notion de QAI dans plusieurs actions : actions 8, 9, 17, 20...
- **Le Haut Conseil de la Santé Publique** : propose que les bâtiments neufs livrés à partir de 2012 présentent des valeurs moyennes inférieures à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde (nov 2009)
- **La loi Grenelle 2** : introduit de façon législative la QAI et l'inscrit dans le code de l'Environnement (articles L221-7 à L221-10). Une surveillance de la qualité de l'air est rendue **obligatoire** pour le propriétaire ou l'exploitant de certains établissements recevant du public [...] lorsque la configuration des locaux ou la nature du public le justifie.

Prise de conscience de l'importance de la QAI



Années 90 : Etudes de la qualité de l'air dans les lieux influencés par les transports (gares, parkings,...)

2001 : Création de l'OQAI

2001 : Première étude pilote logements OQAI

2003-2005 : Campagne nationale logements (OQAI)

À partir de 2005 : Campagnes ponctuelles de mesure dans les écoles

2006 : Etat des connaissances sur la QAI dans les bureaux (OQAI)

...

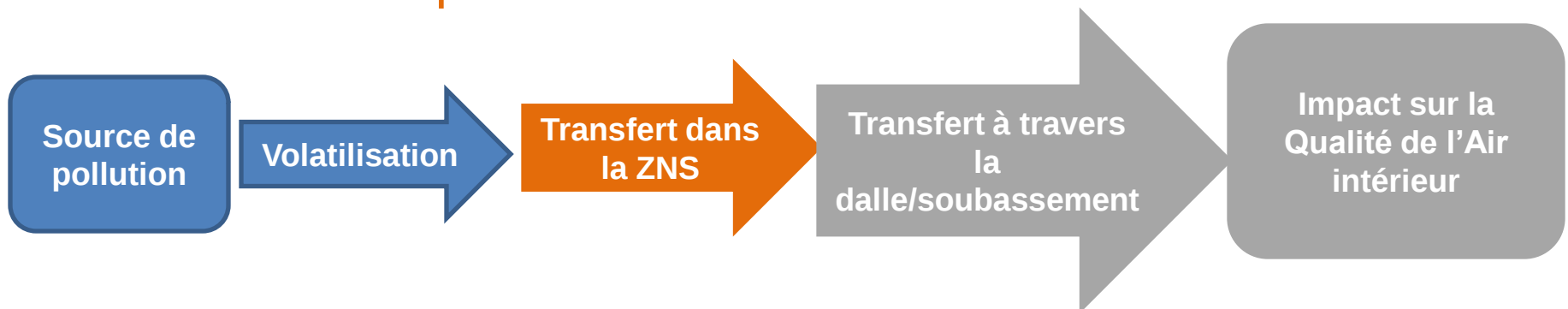
2009-2011 : Programme national écoles (OQAI – AASQA)

...

Quand se poser la question d'un éventuel impact de la pollution du sol sur la QAI ?

Un transfert de pollution depuis les sols vers l'air intérieur ne peut apparaître que si :

- les polluants sont volatils
- le terrain est favorable aux transferts
- le bâtiment présente des voies de transferts



Typologie des pollutions (1/2)

Familles de polluants et exemples	Principales propriétés communes	Activités génératrices
HYDROCARBURES PETROLIERS COURANTS - Essences - Gazole - Fuel-Oil domestique - Carburants d'aviation - Pétrole brut - Naphta	- Plus légers que l'eau - Bio-dégradables - Globalement peu solubles mais fraction soluble possible - Volatils ou comportant une fraction volatile - Viscosité variable - Adsorption variable	- Stations-services - Dépôts de stockage - Installations de transport (port, pipes) - Raffineries - Transports (Fer, route)
HYDROCARBURES LOURDS - Fuels lourds - Goudrons de houille - Goudrons de pétrole - Créosotes	- Densité variable - Peu bio-dégradable - Peu solubles - Peu volatils - Visqueux - Adsorption en générale forte	- Chaudières, centrales thermiques - Usines à gaz - Raffineries - Traitement de bois...
HYDROCARBURES HALOGENES ALIPHATIQUES - Nombreuses formules, les plus courantes : TCE, TCA, PCE, chloroforme bromoforme...	- Dense - Peu bio-dégradables - Relativement solubles - Volatils - Fluides - Adsorption en générale faible	- Traitement de surface, mécanique - Industrie chimique - Nettoyage à sec - Très courants dans de nombreuses industries...

Typologie des pollutions (2/2)

Familles de polluants et exemples	Principales propriétés communes	Activités génératrices
“METAUX LOURDS” Cd, Hg, Ni, As, Co, Pb, Sb, Cr, Cu, Zn...	- Solubilités variables suivant les sels et la spécification - Adsorption générale forte - Non volatils (sauf le Mercure) - Pas bio-dégradables	- Traitement de surface - Traitement du bois - Minéralurgie, métallurgie - Electrolyse du sel, dépôts et exploitation minière, décharges, ordures ménagères
AUTRES ORGANIQUES - Hydrocarbures oxygénés : Glycols, alcools, phénols, furane, additifs des carburants modernes (MTBE, TAME) - Halogénés cycliques : - Nombreux pesticides - PCB - Pentachlorophénol	- Fortement solubles - Bio-dégradables - Autres propriétés variables - Peu volatils - Très peu à pas bio-dégradables	- Variables
AUTRES PRODUITS MINÉRAUX - Nitrates - Cyanures - Chlorures, Sulfates	- Très variables en fonction des sels incriminés et des propriétés physiques et chimiques des sols	- Explosifs - Usines à gaz

Les sites pollués en France

Le MEDDT (BASOL) recense 4300 sites pollués en France dont

➡ **1/4 concerné par des solvants**

➡ **1/3 concerné par des hydrocarbures**

Basol (<http://basol.ecologie.gouv.fr>) répertorie les sites pollués, connus de la DRIRE, faisant l'objet de mesures de gestion pour prévenir les risques pour les populations riveraines et les atteintes à l'environnement

Basias (<http://basia.brgm.fr>) répertorie (sans être exhaustif) environ 400 000 sites qui ont accueilli par le passé une activité industrielle ou artisanale

Démarches de gestion associée à la reconversion des sites

Hors site : les usages des milieux sont fixés

Enjeux :

S'assurer de la compatibilité entre l'état des milieux et de leurs usages constatés

La démarche d'interprétation de l'état des milieux - **IEM**

mesures
simples ?

NON

OUI

Absence de
nécessité de
mesure de
gestion

**Le plan de
gestion**

Mise en œuvre
+ si besoin surveillance (bilan quadriennal)

Sur site : les usages peuvent être choisis, maîtrise des moyens

Enjeux :

- projet de réhabilitation : construire des logements **sains**
- Rétablir la compatibilité usage / état des milieux

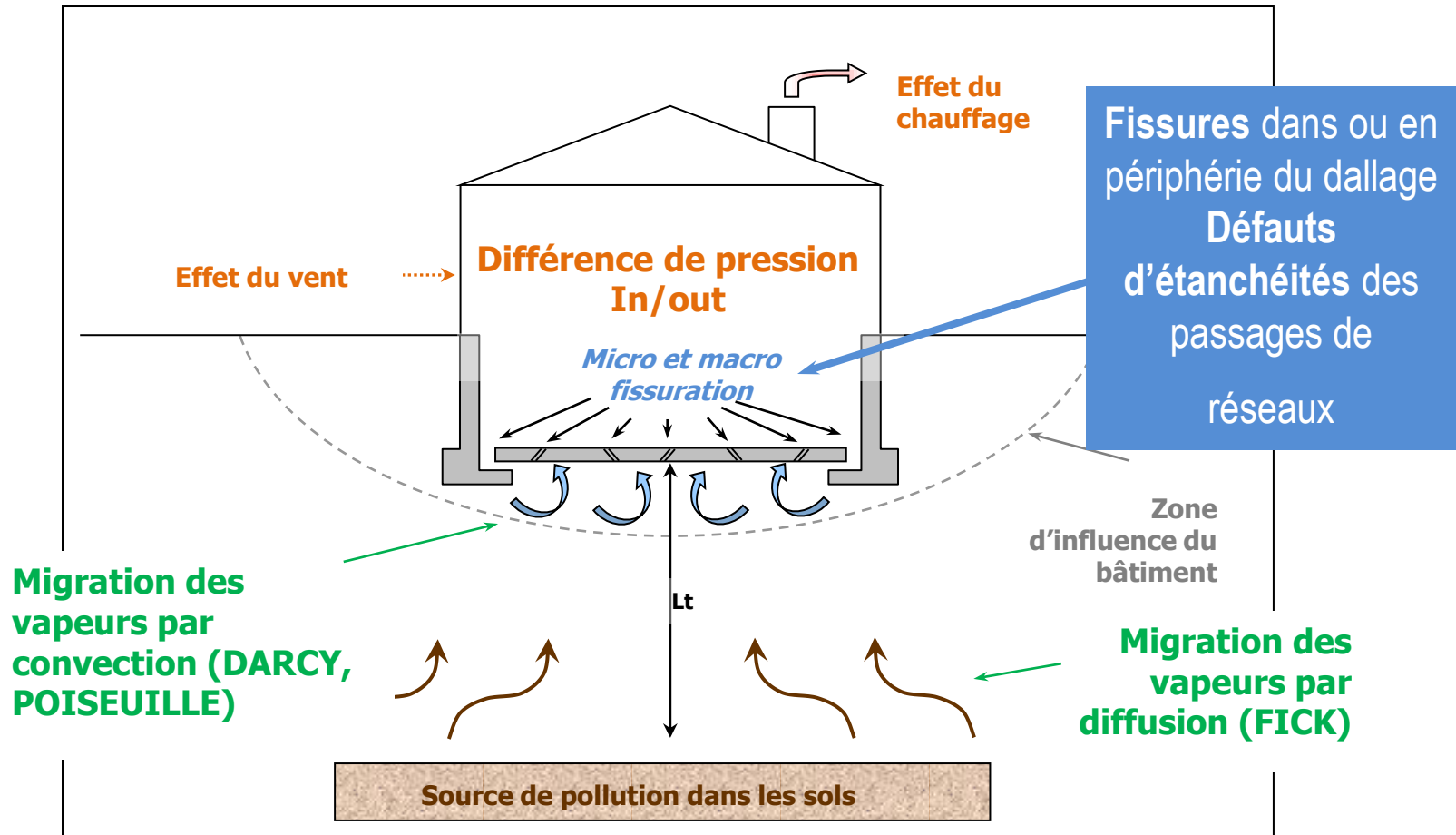
Objectif de gestion

Garantir la compatibilité
entre l'état des milieux
et leurs usages

Pour les usages futurs les EQRS (Evaluation quantitative de Risques Sanitaires) sont un outil d'aide à la décision pour s'assurer de cette compatibilité

- à partir de la pollution résiduelle en place
- en modélisant de manière prédictive les transferts
- en modélisant les risques sanitaires potentiels théoriques

Comment les pollutions volatiles migrent vers l'air intérieur ?



Interfaces sol/bâtiment

Dalle portée, dalle sur radier, dallage indépendant...
Bâtiment sur sous-sol, sur terre plein, sur vide sanitaire

Incidences particulières sur les transferts de COV et leur gestion le cas échéant



	Dallage sur terre-plein	Vide sanitaire	Sous-sol
Région parisienne	32 %	23 %	45 %
Bassin parisien	53 %	19 %	28 %
Nord	72 %	12 %	16 %
Est	26 %	16 %	58 %
Ouest	69 %	17 %	14 %
Sud-Ouest	59 %	25 %	16 %
Centre Est	52 %	11 %	37 %
Méditerranée	25 %	65 %	10 %
Moyenne France	50 %	25 %	25 %

Source Projet FLUXOBAT (ANR-PRECODD)

BURGEAP, CSTB, IMFT, INERIS, LHYGES, TERA Environnement, Grand Lyon

Passages préférentiels : défauts d'étanchéités et fissures

Les fissures de la dalle :

- au sein de la dalle (dépend du type de béton, mise en place, vieillissement...)
- en périphérie de dalle (fissures de retrait pour les dallages indépendants)



Les passages préférentiels :

- gaines techniques,
- passages VRD
- ...



Dépression entre l'air intérieur et extérieur

Légère dépression (quelques Pascals)

Dépressions du bâtiment fonction du renouvellement d'air (en Pa)

		Débit extrait		
		0,25 vol/h	0,5 vol/h	1 vol/h
Étanchéité à l'air	Bonne	-1	-5	-15
	Moyenne	-0,25	-1	-4

Source Projet FLUXOBAT (ANR-PRECODD)

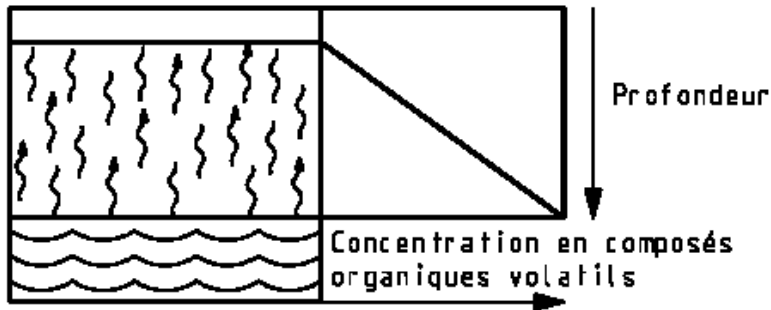
BURGEAP, CSTB, IMFT, INERIS, LHYGES, TERA Environnement, Grand Lyon



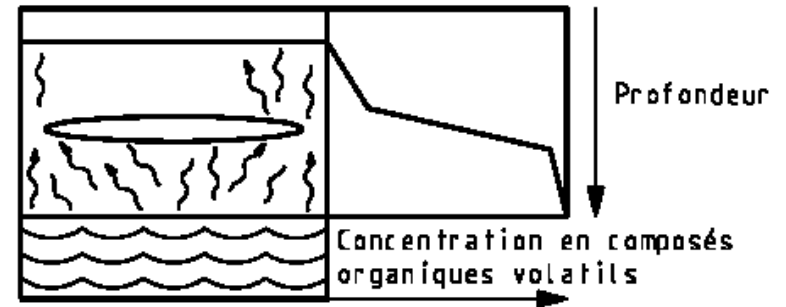
Profils de diffusion de COV dans les sols

Vers l'extérieur (absence de recouvrement)

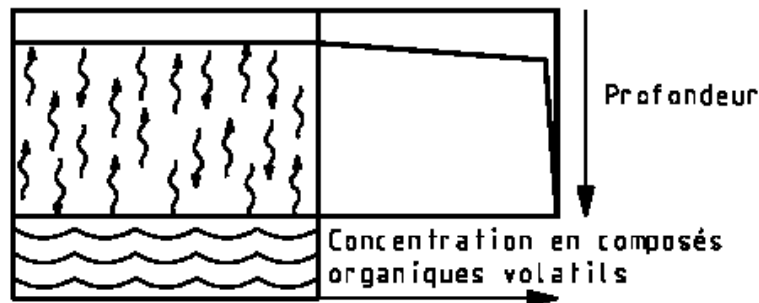
pour une lithologie homogène



ou non homogène



Vers l'intérieur ou l'extérieur en présence d'une surface peu perméable



Comment apprécier ces transferts et les concentrations induites ?

Pour les bâtiments existants

Mesures des
concentrations / flux de
COV

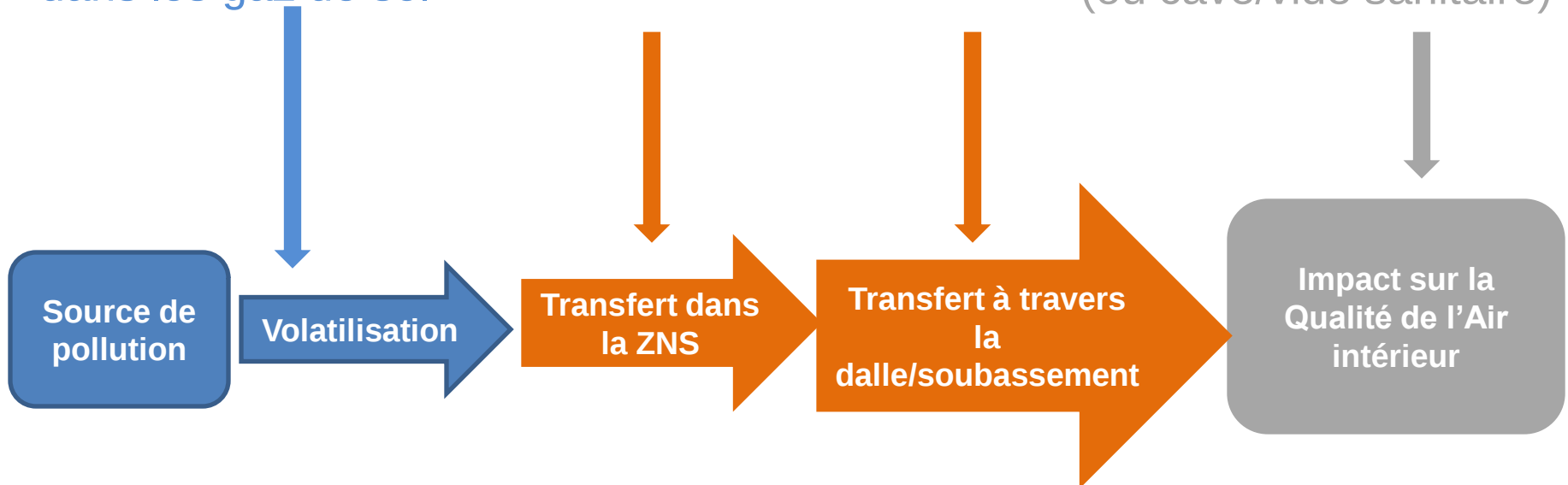
Comment identifier un éventuel impact d'une pollution sur la QAI?

mesures progressives et proportionnées

Mesures des teneurs dans les gaz de sol

Mesures des flux éventuels (ou cave/vide sanitaire)

Mesures des concentrations dans l'air intérieur



Mesures dans l'air des sols (mg/m^3)

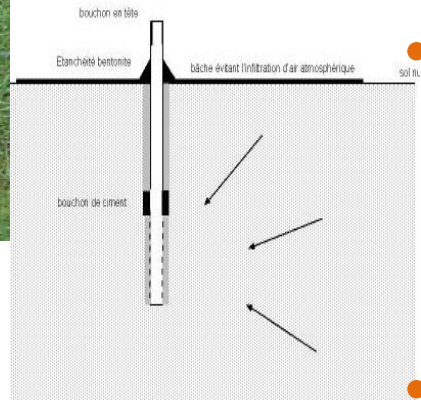
- Donne une information de la concentration dans les gaz du sol à un instant et un endroit donné (zone source ou transfert)
- Permet par la multiplication de prélèvement l'évaluation du flux diffusif vers la surface (FICK)
- Permet la cartographie d'un panache de composés gazeux dans la ZNS (x,y) et (x,y,z)
- Permet la recherche indirecte de la source de pollution

Dispositifs de mesures dans l'air des sols

- Documents méthodologiques

Norme existante en France (NF ISO 10381-7 2006)

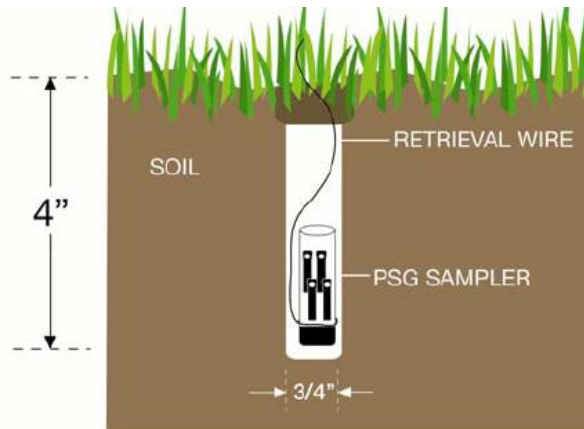
Guides méthodologiques existants (ASTM, US-EPA...)



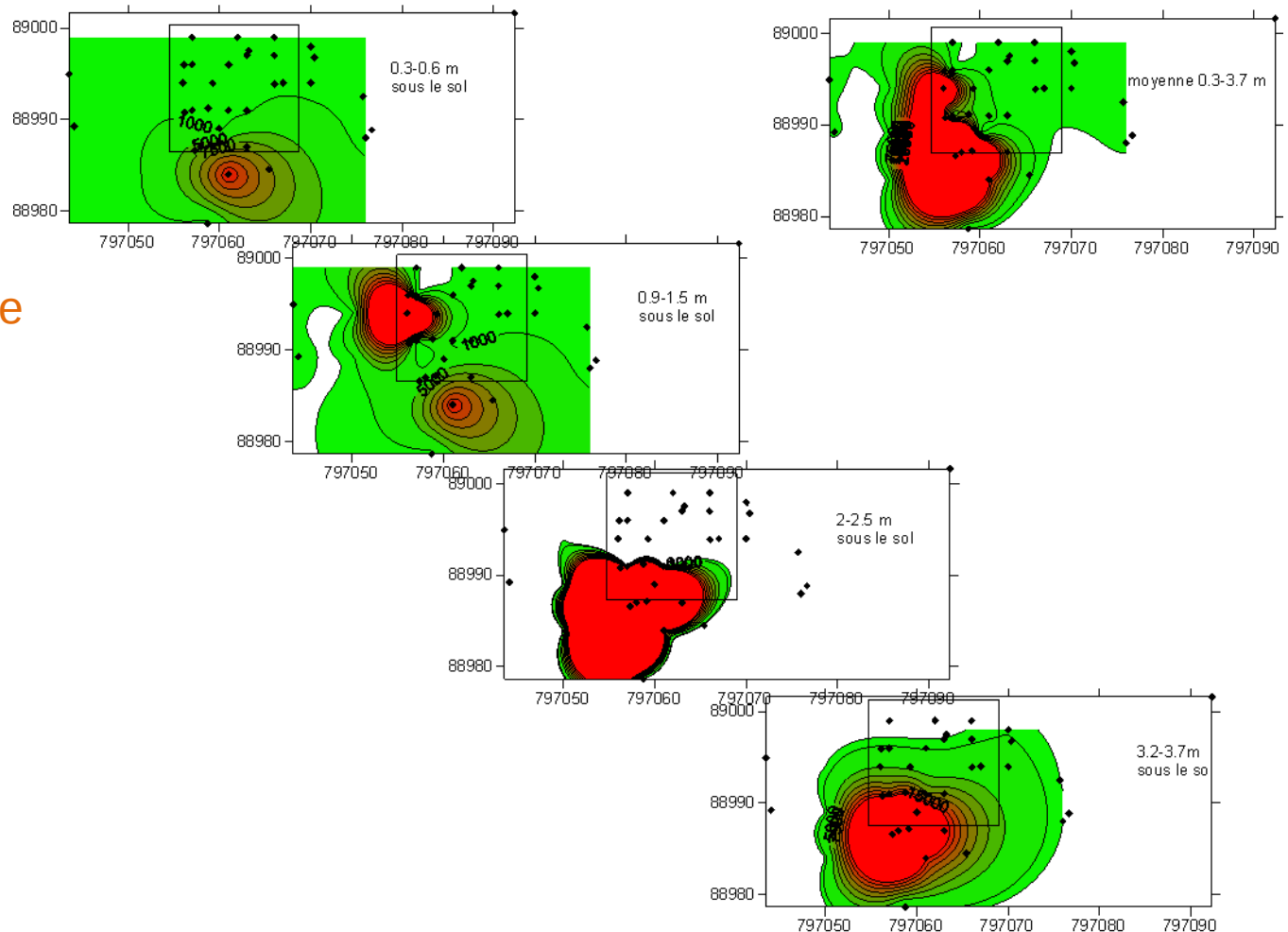
- Prélèvements avec/sans adsorbants

Canister, sac teldar, différents adsorbants (CA, tenax, etc.)

- Prélèvements dynamiques ou passifs



Teneurs dans l'air des sols (mg/m^3)



Cartographie provisoire
au droit d'un site réel
(juin 2011)

Dispositifs de mesures des flux vers la surface ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)

- Permet de mesurer directement les flux vers l'atmosphère intérieure ou extérieure (intégration de l'ensemble du profil de concentration)
- Documents méthodologiques

Absence de norme
Guides méthodologiques existants (ASTM, US-EPA...)
- Différentes méthodologies existent

Les chambres dites dynamiques (tunnel à vent) et les chambres dites statiques (faibles débits)

Dispositifs de mesures des flux vers la surface

- Dispositif en recirculation ou non (faible débit)
- Dispositif en accumulation ou non
- Accumulation sur adsorbant ou mesure en direct non discriminante (PID)



Illustration des flux vers l'air intérieur

Maillage sur
une dalle de site réel
(juin 2011)

7.10^{-6}	0	0	9.10^{-6}	0	3.10^{-7}	3.10^{-6}	4.10^{-6}
4.10^{-5}	2.10^{-3}	0	0	0	0	0	0
0	1.10^{-3}	6.10^{-6}	8.10^{-6}	1.10^{-5}	4.10^{-6}	6.10^{-6}	1.10^{-5}
0	3.10^{-3}	0	0	0	0	3.10^{-6}	6.10^{-6}
6.10^{-5}	3.10^{-6}	4.10^{-5}	2.10^{-6}	3.10^{-6}	0	5.10^{-6}	0
2.10^{-5}	0	0	3.10^{-5}	0	4.10^{-7}	3.10^{-6}	3.10^{-6}
1.10^{-5}	1.10^{-5}	6.10^{-7}	3.10^{-6}	6.10^{-6}	4.10^{-6}	0	1.10^{-5}
2.10^{-6}	2.10^{-5}	5.10^{-7}	X	3.10^{-6}	9.10^{-6}	0	5.10^{-6}
2.10^{-6}	2.10^{-7}	0	X	6.10^{-6}	2.10^{-6}	0	0

Source INERIS - Projet FLUXOBAT (ANR-PRECODD)
BURGEAP, CSTB, IMFT, INERIS, LHYGES, TERA Environnement, Grand Lyon

Mesures dans l'air ambiant



- Permet de mesurer directement les concentrations dans l'air

- Documents méthodologiques

*Normes multiples (NF X43-402 ,
NF EN ISO 16017-1 et -2...)*

Guides méthodologiques existants



- Différentes méthodologies existent

Les prélèvements passifs (accumulation sur support adsorbant durant plusieurs jours- 1 à 2 semaines)

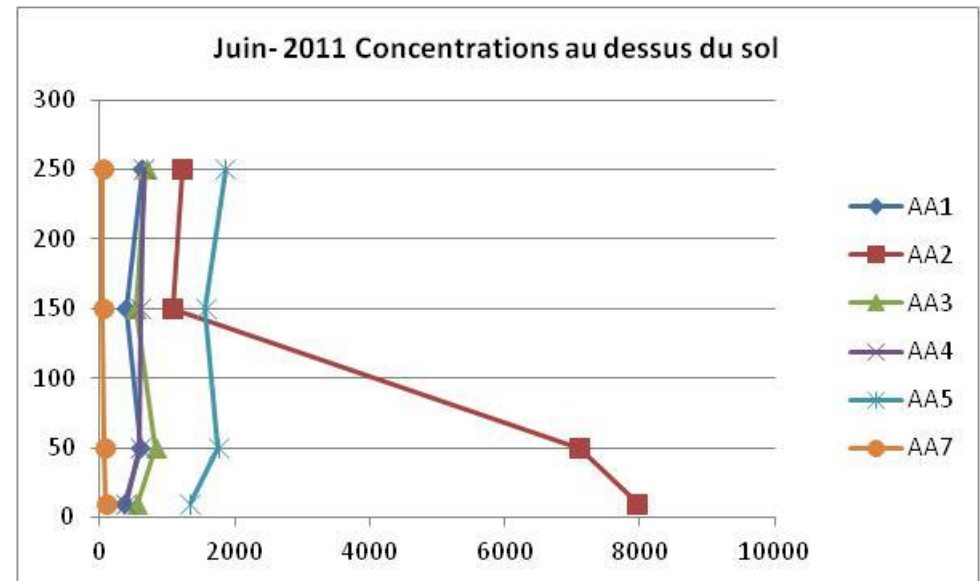
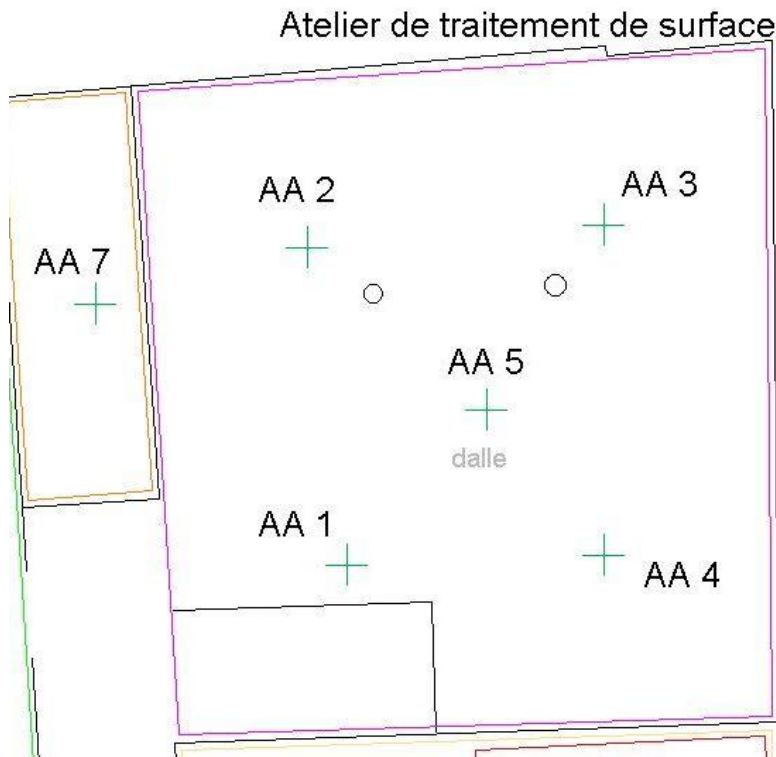
Les prélèvements dynamiques par accumulation sur adsorbant (1- 24 h), ou sans support adsorbant (sac tedlar, canister)

Mesures dans l'air ambiant

- Interprétation de mesures délicate sans lien avec la pollution du milieu souterrain
 - > variabilité temporelle (h/j/sem...) par rapport à une année ou 40 ans...
 - > variabilité spatiale (pièces les unes par rapport aux autres)
 - > sources internes à une dégradation de la QAI (activités, revêtements, mobiliers, etc.)
- Interprétation encore plus délicate vis-à-vis du transfert depuis le milieu souterrain
 - > En plus des raisons de variabilités ci-avant,
 - > Variation des conditions de transfert (convection/diffusion)
 - > Variation temporelle des teneurs à la source
 - etc.

Illustration des teneurs dans l'air intérieur (mg/m³)

Cartographie
du site réel (juin 2011)



Comment apprécier ces transferts et les concentrations induites ?

Pour les bâtiments existants

*Mesures des
concentrations / flux de
COV*

Pour les bâtiments futurs

**Modélisation prédictive
des concentrations/flux**

Etat de l'art des outils de modélisation

- **Milieu souterrain**
 - Solutions analytiques (VOLASOIL, RBCA, CalTOX...)
 - Codes numériques dédiés à la problématique des écoulements et transferts de polluants (TOUGH2, SIMUSCOPP...) et les codes numériques généraux CFD (Computational Fluid Dynamics).
- **Bâtiment**
 - Solutions analytiques (VOLASOIL, Johnson & Ettinger, CSOIL...)
 - Modèles de ventilation (nodale mono ou multizone, zonale, CFD)
- **Air atmosphérique**
 - Solutions analytiques (HESP, modèle « boîte », RBCA...)
 - Modèles numériques (gaussiens, intégral, CFD)

Comment apprécier ces transferts et les concentrations induites ?

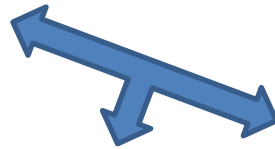
Pour les bâtiments existants

Mesures des
concentrations / flux de
COV

Pour les bâtiments futurs

Modélisation prédictive
des concentrations/flux

Actuellement
confrontation montrant
des écarts majeurs



Projet FLUXOBAT

ANR-PRECODD 2009-2013

- **Transferts** vers l'air intérieur ou l'air atmosphérique des pollutions volatils présentes dans les sols ou les nappes sous-jacentes, **mal connus**
- **Réalisation** de mesures ponctuelles (espace et temps) , **Interprétation et Transposition** à de longues périodes d'exposition, **difficiles**
- **Besoin croissant de confiance dans la prédiction des transferts, la réalisation de mesure et leur interprétation**



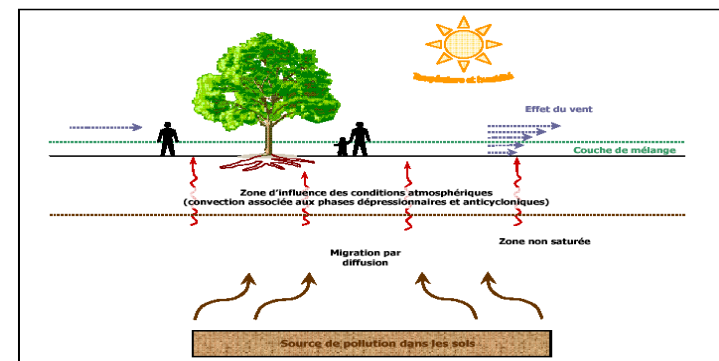
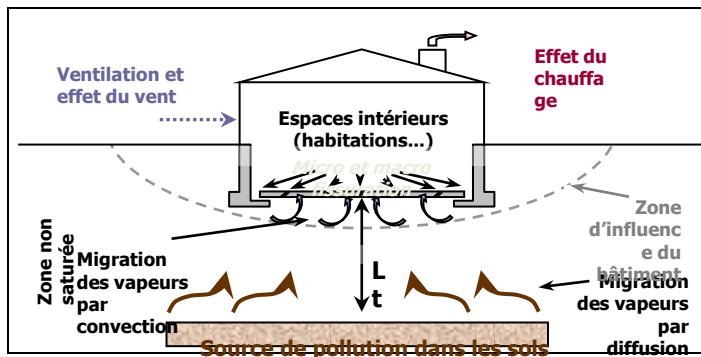
Projet de recherche axé sur ces attentes



Problématiques

Air intérieur

Air extérieur



Programme de recherche FLUXOBAT

Développement d'outils pour l'évaluation des transferts de COV d'une source de pollution dans le sol vers l'air intérieur des bâtiments

Moyens

- ➔ Confrontation de travaux à différentes échelles (laboratoires, sites pilotes, site réel industriel)
- ➔ Confrontation des données à des outils de modélisation

Valorisations

- ➔ Document d'Etat de l'Art et résumé des travaux
- ➔ Guide méthodologique pour la mesure et la modélisation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et l'air atmosphérique
- ➔ Journée technique dédiée à l'issue du projet

Echelles de compréhension

Laboratoires
CSTB et IMFT

Sites pilotes
CSTB et LHYGES

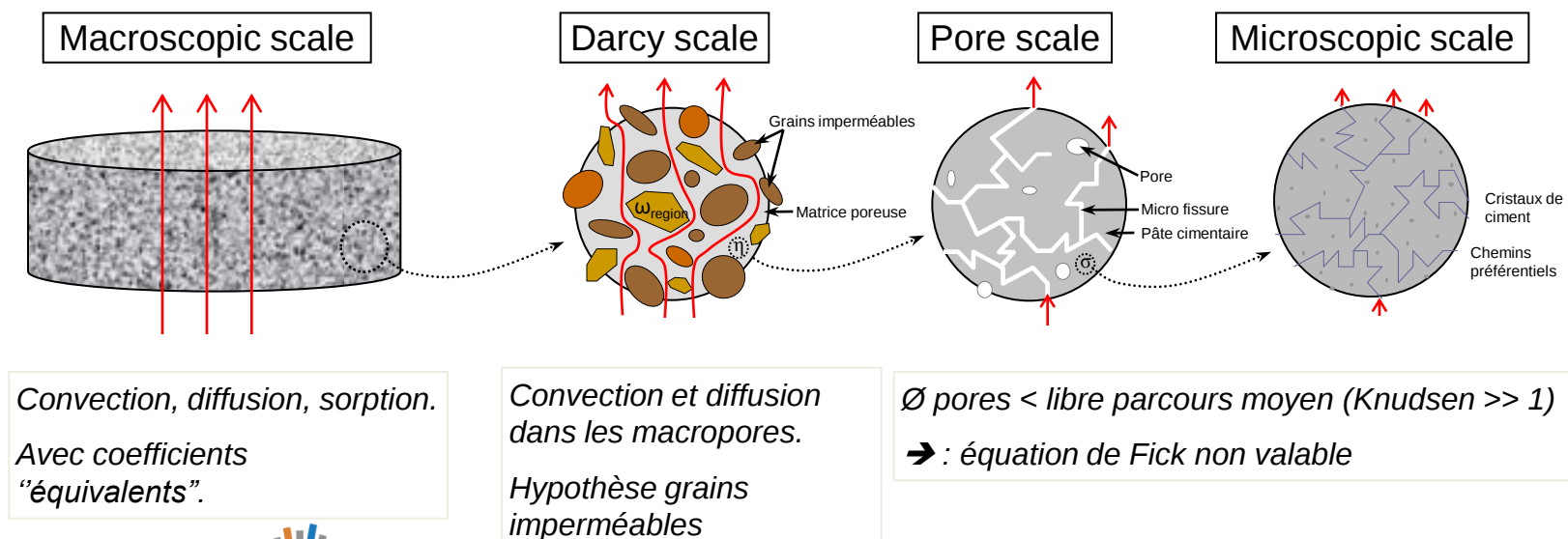
Site réel



Transferts à travers le béton (laboratoires CSTB-IMFT)

Echelle du béton

le béton n'est pas un milieu homogène : Phénomènes à considérer dépendant de l'échelle



Echelles de



compréhension

Laboratoires

Sites pilotes

CSTB :

création des éprouvettes d=8cm
et du corps d'épreuve d=200cm

Vieillessement

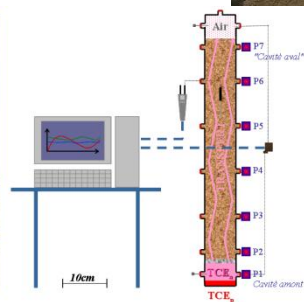
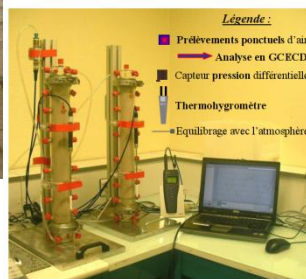
Création du caisson



Création de la colonne
Travaux en diffusion
et convection

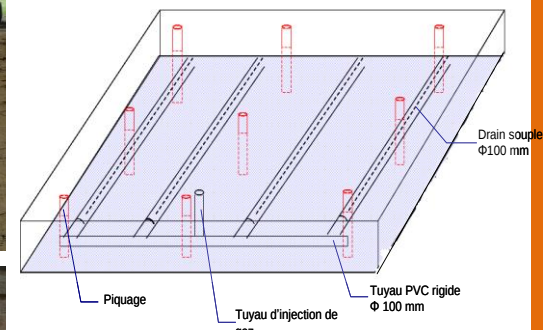
IMFT

Changement d'échelle



LHYGES –SCERES :

Migration de vapeurs TCE
dans un milieu poreux maîtrisé
Transfert à travers une dalle
fissurée



CSTB- MARIA :

Caractérisation des lois
Q-P d'une dalle
de bâtiment maîtrisé



Echelles de



compréhension

Transferts à travers la dalle et des chemins préférentiels

Complexité du site réel

Source de pollution et milieu poreux hétérogène & Bâtiment et dalle vieilliss

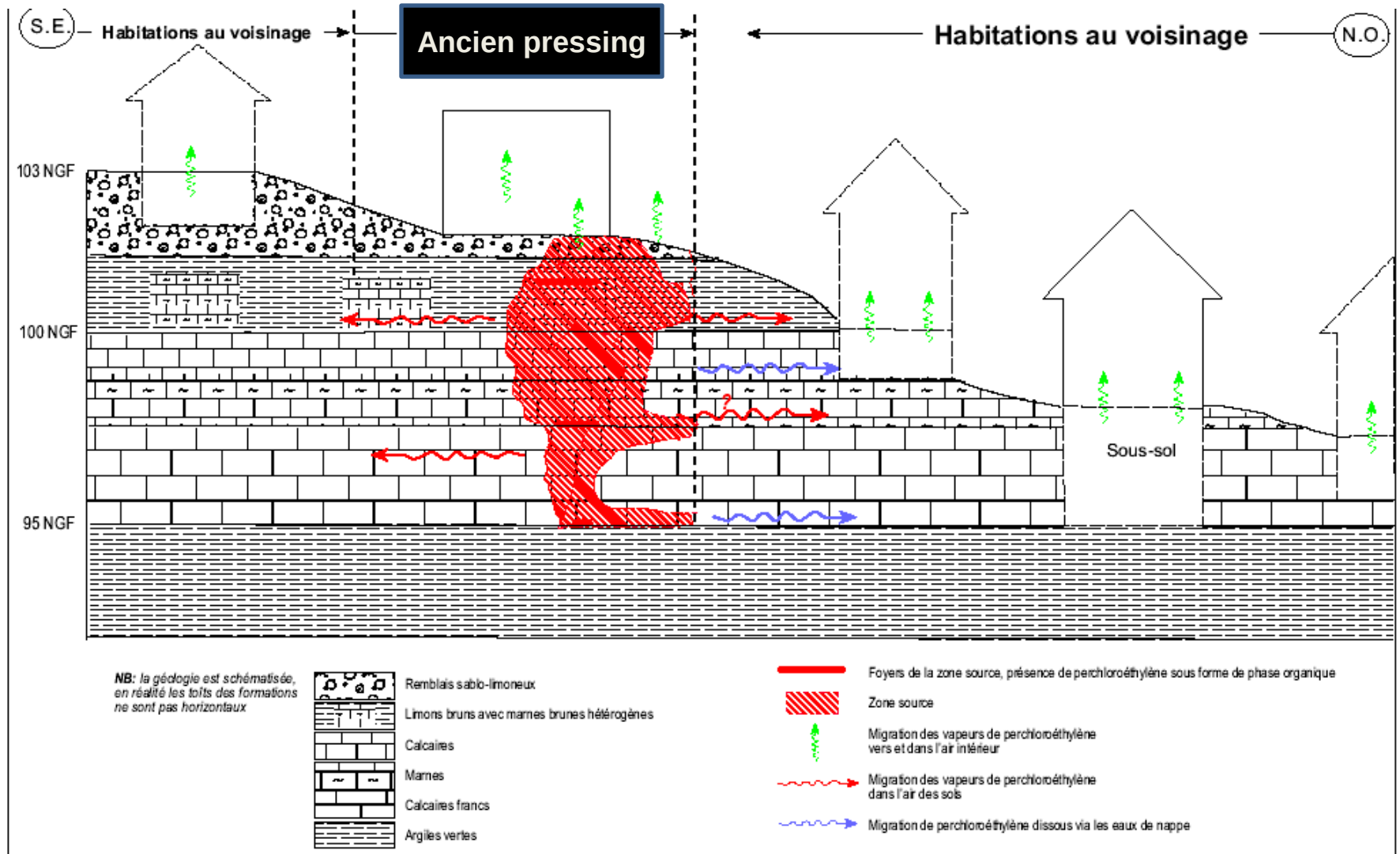
-> Apprécier l'applicabilité à l'échelle d'un site réel des modélisations et outils de diagnostics

INERIS



Illustrations des difficultés d'interprétation

- Exemple 1 : Problématique de transfert de pollution vers des habitations en dehors du site
- Exemple 2 : Diagnostic de la qualité de l'air de bureaux



Diagnostics sur site :

- Sondages, piézomètres, piez-airs,
- Dans les sols PCE de l'ordre de 50 g/kg (phase organique présente)
- Dans l'air des sols PCE # 1 à 10 g/m³

Diagnostics hors site :

- Sondages, piézomètres, piez-airs,
- Mesures des concentrations dans l'air de sous-sols, vides sanitaires et lieux de vie
- constat de la ventilation des habitations

Mesures dans l'air

Lieux	avis sur la ventilation	Gamme de concentrations dans l' AIR DES SOLS (mg/m3)	Gamme de concentrations dans l'AIR AMBIANT (mg/m3)	Gamme de concentrations dans l'AIR des sous-sols (mg/m3)
Habitations de plain pied	ventilation mauvaise & transferts favorisés par le passage de réseaux	1 à 800	1 à 2	-
Habitations sur sous-sol	''	200 à 1 000	3 habitats : 0.01 à 0.3 1 habitat >10	4 sous-sol : 0.04 à 6
Ancien site industriel	fortement ventilé dallage en mauvais état	290 – 8 000	0,2 à 0,8	-

Cadre d'interprétation (BdF, VGAI, OMS, ...)

Enseignements de l'exemple 1

- La problématique première était ici la compréhension des transferts entre le terme source (phase organique) et l'Air intérieur
- Au-delà de variations temporelles (été/hiver) de teneurs dans les habitats, l'hétérogénéité des formations lithologiques (bancs calcaires), les différentes entre les habitats (typologie, ventilation, date...) rendent difficile une modélisation prédictive fine

Exemples de bureaux sur ancien site industriel

Historique succinct

- ancienne industrie de stockage de solvants chlorés
- Diagnostic des sols montrant présence de solvants chlorés (PCE et TCE de l'ordre du mg/kg)

Cadre de l'étude

Etude réalisée dans le cadre de la cessation d'activité (pas de changement d'usage)

Diagnostic

- Sondages sol complémentaire
Campagnes de mesure des teneurs dans l'air intérieur (passifs) à 2 périodes
- a) ateliers sans activités et vides
 - b) bureaux en activités
 - c) en extérieur



Teneurs mesurées

BUREAUX
ATELIERS

		PCE	TCE			PCE	TCE
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	juil-08	juil-08		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	oct-08	oct-08
BUREAUX ATELIERS	1	132,9	26,3		1	<0,1	<0,1
	2	74,2	16,7		2	<0,1	<0,1
	3	43,8	12,4		3	<0,1	<0,1
	4	8	8,8		4	<0,1	<0,1
	5	12,6	20,5		5	<0,1	<0,1
	6	2,7	5,7		6	<0,1	<0,1
	7	2	4,6		7	<0,1	<0,1
	8	5	43,2		8	<0,1	<0,1
	9	3,5	37,7		9	<0,1	<0,1
	10 (ext)	11,4	14,2		10 (ext)	<0,1	<0,1
	BdF ext (1)	< 3,9 (p95)	< 2,3 (p95)		BdF ext (1)	< 3,9 (p95)	< 2,3 (p95)
	VGAI 1 an (2)	250	-		VGAI 1 an	250	-
	VGAI (2) vie entière	-	20 (10-5)		VGAI vie entière	-	20 (10-5)
	BdF ext (1)	OQAI (extrait pour l'air extérieur du percentile 95) Campagne nationale logements : Etat de la qualité de l'air dans les logements français - rapport final, nov 2006 (màj mai 2007)					
	VGAI (2)	VGAI établies par l'AFFSET					

Enseignements de l'exemple 2

Variabilité temporelle des teneurs dans l'air intérieur
(ventilation naturelle, variabilité de la dépression du bâtiment)



Impact de la pollution du milieu souterrain existant
mais concomitant avec une pollution de l'air
atmosphérique

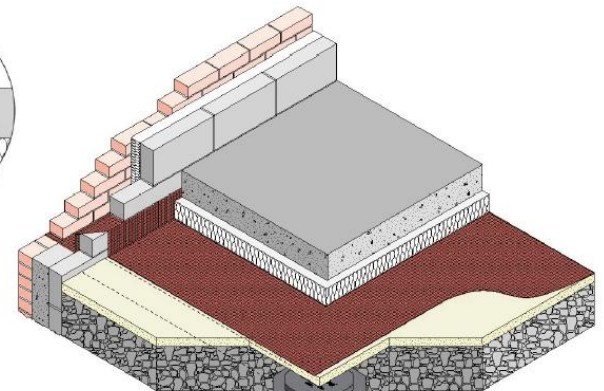
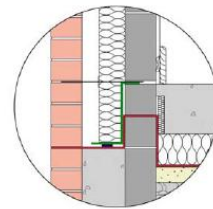
Transposition de mesures ponctuelles à du long terme
difficile sans modélisation

Quelles mesures de gestion ?

- Action sur la source de pollution (réduction de son emprise et des teneurs dans l'air du sol à la source)
- Limitation des transferts vers l'air intérieur

Mesures de prévention au niveau du bâtiment

- Limiter le nombre de traversées de plancher bas (passages préférentiels)
- Mise en place de Membranes étanches



Monarflex Radon Resisting Membranes

- Privilégier les bâtiments sur vide sanitaire (cf circulaire ETS de fév. 2007) – *question de maintenance* -

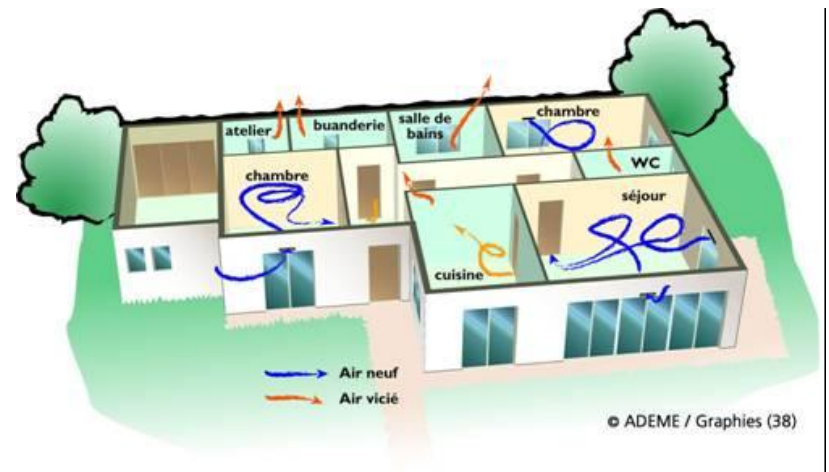


(Extrait CSTB)

- Mise en dépression du vide sanitaire ou des sols sous bâti – *question de maintenance* -

Mesures de prévention au niveau du bâtiment

- Mise en place de dalles portées plutôt que des dalles indépendantes sur terre plain
- **La ventilation** : point stratégique de l'environnement intérieur ⇨ trouver un équilibre entre bilan énergétique engendré par le renouvellement d'air et impact sanitaire
- Limiter (voire inverser?) la dépression du bâtiment par une entrée d'air mécanique



Principe de fonctionnement d'une VMC simple flux

Mesures de corrections possibles



Mise en dépression des sols en extérieur du bâtiment par des drains périphériques

Mise en dépression des sols sous le bâtiment par des drains verticaux



Réfection des dalles / passages de réseau

Réfection des systèmes de ventilation du bâtiment

Transferts et impacts associés au transport de polluants volatils des sols vers les bâtiments

Vos questions

Sylvie TRAVERSE (s.traverse@burgeap.fr)

