

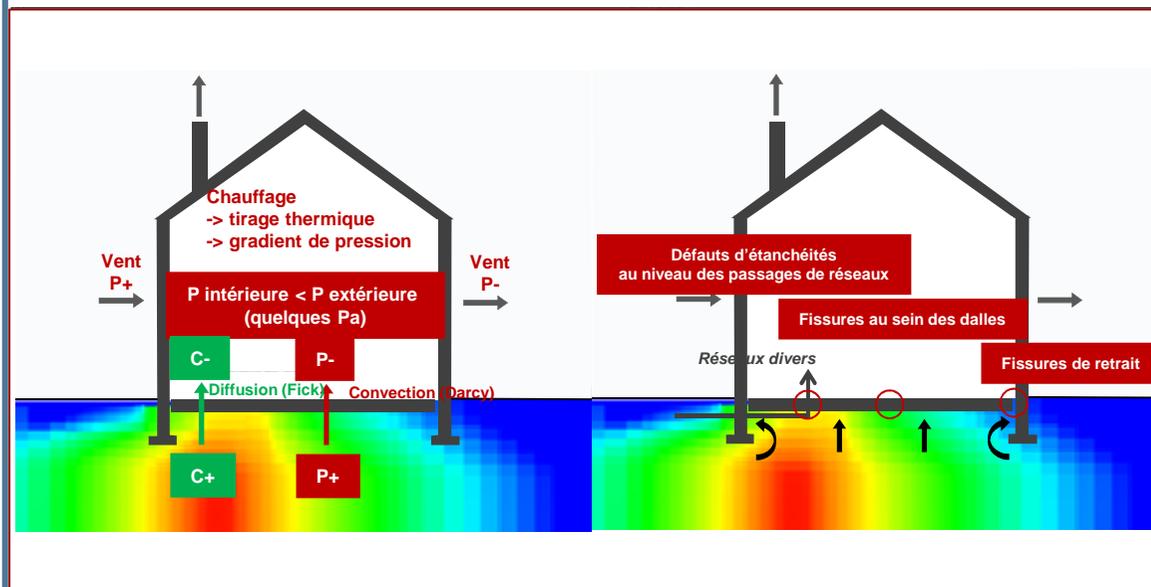
## Evaluation des transferts de COV des sols vers l'air intérieur et extérieur

### Guide méthodologique

# Problématique



- > Existence de pollutions volatiles dans les sols de terrain construits ou à construire
- > Transferts vers l'air intérieur et l'air extérieur



**Verrous et attentes des maîtres d'ouvrage**  
(Gestion des sites suivant l'usage)

- Que faire pour s'assurer de l'absence de pollution par des substances volatiles sur le site (que je gère ou que je souhaite réaménager, acheter ou vendre ?)
- Que faire pour s'assurer que l'état de mon site pollué par des pollutions volatiles reste compatible avec son usage actuel ?
- Que faire pour réaménager mon site pollué avec conservation des bâtiments existants ou construction de bâtiments nouveaux ?
- Que faire pour s'assurer que l'évolution des pollutions résiduelles de mon site ne rende pas son état incompatible avec son usage ?

# Partenaires et travaux conduits



## > Fiche d'identité

FLUXOBAT	
Coordination	BURGEAP
Partenaires	CSTB
	Grand Lyon
	LHYGES
	IMFT
	INERIS
	TERA environnement
Doctorants	3
Durée	4 ans (2009-2013)
Budget total	1,8 M€
Budget cofinancé	0,9 M€
Cofinancement	ANR PRECODD

## > Echelles de compréhension

### 1-Laboratoire



### 2-Plateformes expérimentales



### 3-Site atelier



## > Polluants

Trichloroéthylène & Tétrachloroéthylène



# Structuration du guide méthodologique



Chapitre 1

## MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Identification du besoin  
Outils et verrous actuels  
Déclinaison des outils à chaque étape

Chapitre 2

## MÉCANISMES DE TRANSPORT

Mécanismes au sein des différents  
compartiments et entre les compartiments

Chapitre 3

Chapitre 4

Chapitre 5

Chapitre 6

## MESURES

Paramètres  
physiques

Concentration  
gaz des sols

Flux du sol  
ou des dalles  
vers l'air

Concentration  
dans l'air  
intérieur

Cadre réglementaire, normatif  
Paramètres d'influence  
Dimensionnement, mise en œuvre et  
interprétation

Chapitre 7

Chapitre 8

Chapitre 9

## MODELISATIONS

Les modèles  
et leurs  
fonctionnalités

Les données  
nécessaires  
aux modèles

Les étapes  
de  
modélisation

Typologie de modèles  
Paramètres nécessaires  
Étapes de mise en œuvre

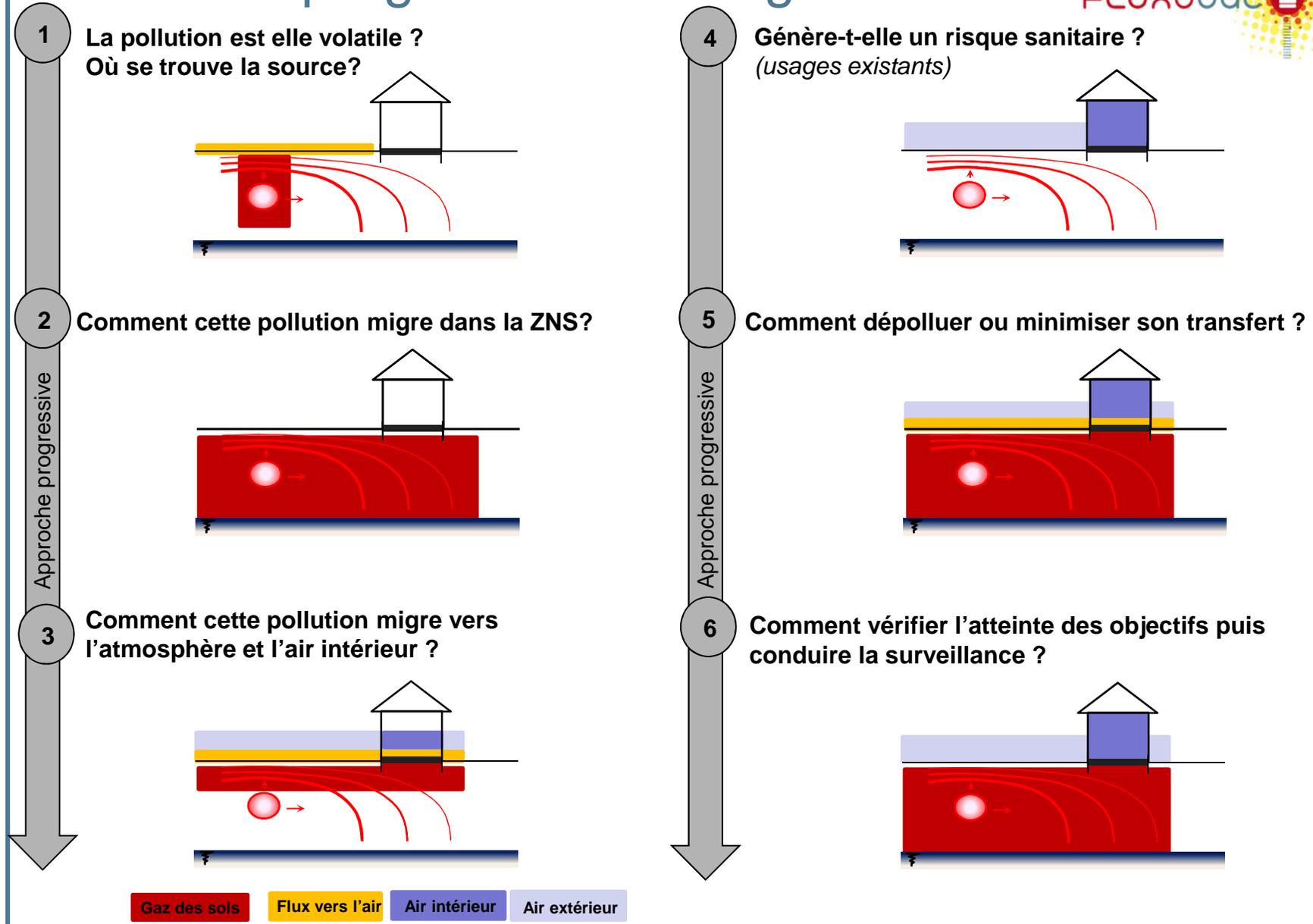


Recommandations en lien avec les prestations SSP  
(circulaires de février 2007, norme NF X 31620 de 2011)

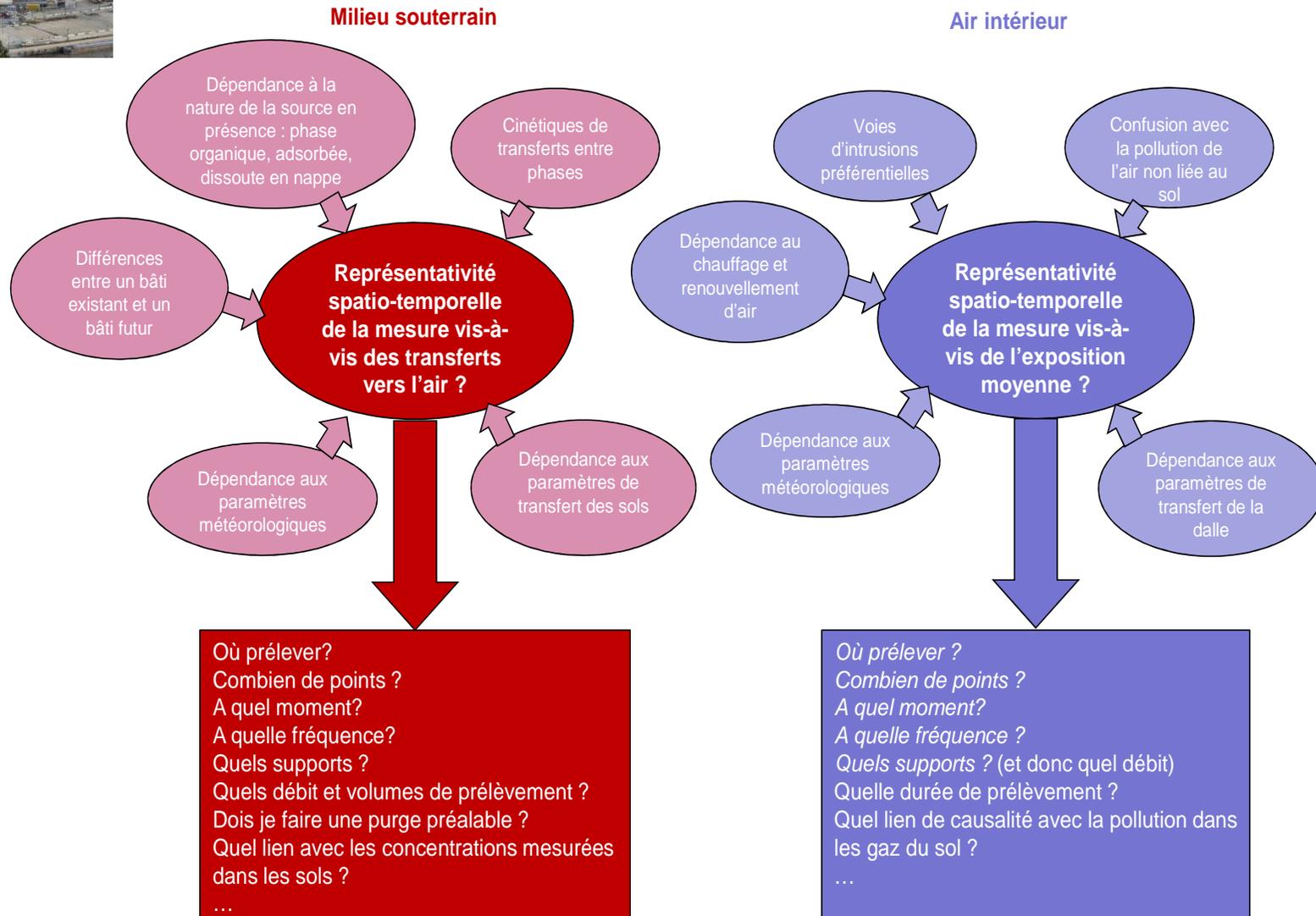


Intégration des recommandations des guides et réglementations  
existantes pour la qualité de l'air intérieur

# Démarche progressive de diagnostic



# Dimensionnement des diagnostics



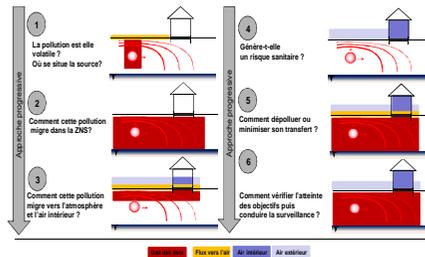
# Gaz des sols – Recommandations 1/4



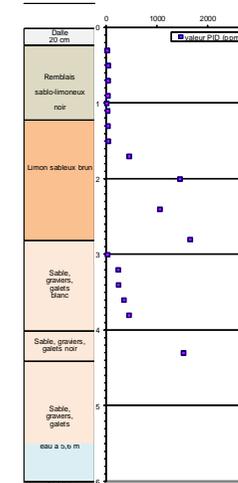
## Où prélever?

1- Exploiter des informations préalables

2- Dimensionner en lien avec l'objectif



Exemple : Mesures au PID lors de la foration des sondages



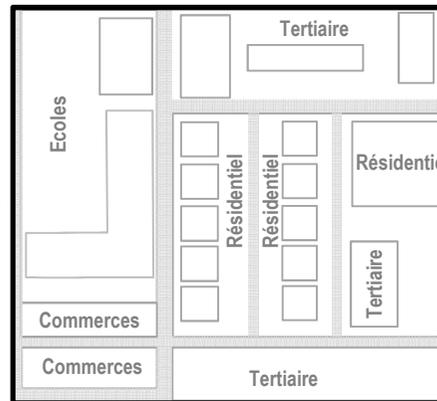
3- Intégrer dès ce stade l'impact potentiel

Cartographie de la pollution des gaz du sol



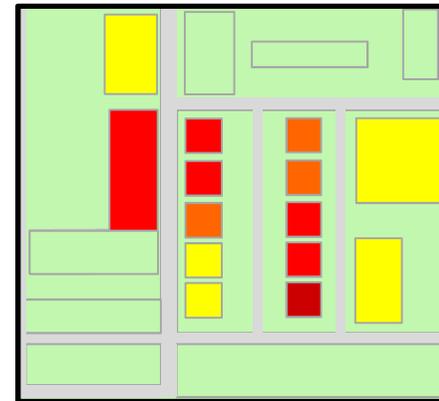
+

Aménagements et usages prévus



=

Cartographie des risques sanitaires



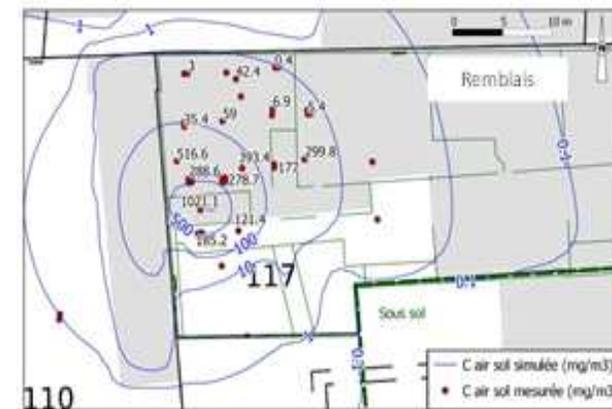
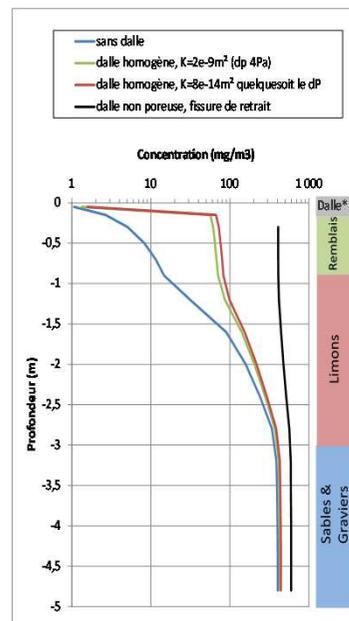
# Gaz des sols – Recommandations 2/4



## Où prélever?

4- Variabilité spatiale au droit des aménagements existants

5 – Impact majeur de la couverture des sols



## Synthèse

Recommandations exhaustives dans le guide méthodologique

- Dimensionner en fonction de l'objectif et de la connaissance préalable
- Limiter la hauteur des intervalles crépinés
- Ne pas prélever proche de la surface si les sols ne sont pas couverts , ...

# Gaz des sols – Recommandations 3/4

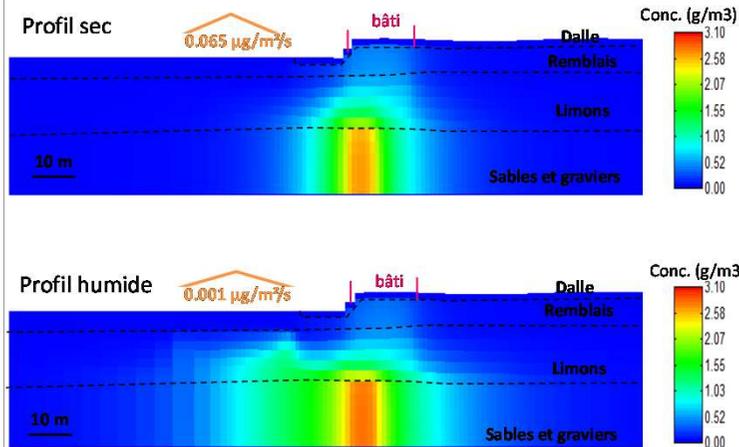
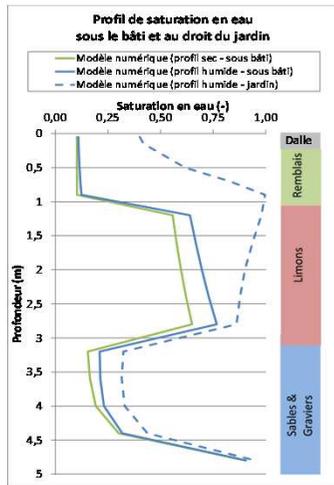


## Quand prélever?

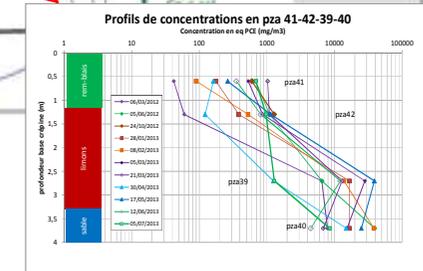
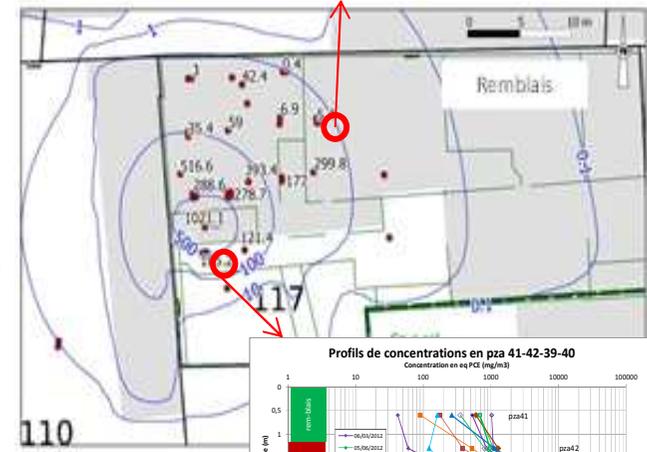
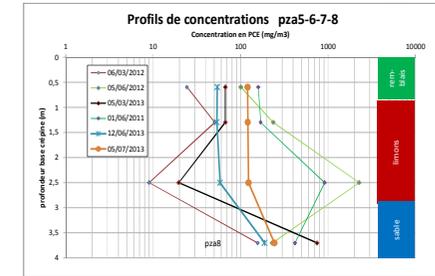
Recensement des périodes favorables  
(avec ou sans bâtiment)



Modélisation numérique



Mesures site atelier



## Synthèse

Recommandations exhaustives dans le guide méthodologique :

- Ne pas prélever après une pluie (si sols nus et prélèvements proche surface)
- A minima deux saisons (été sec / hiver)
- Variabilité temporelle à intégrer à l'interprétation et utilisation des mesures, ...

# Gaz des sols – Recommandations 4/4

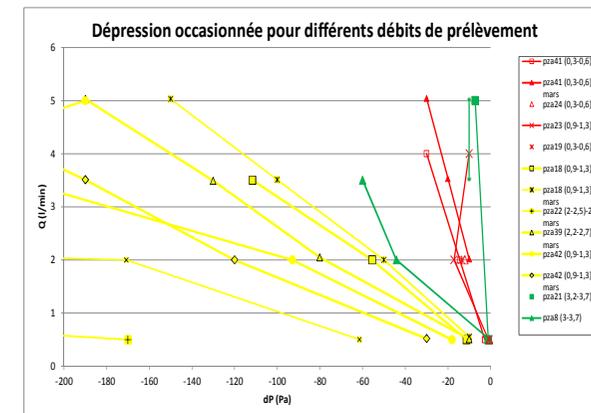
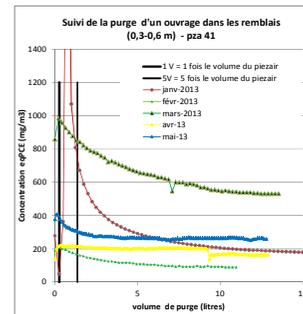
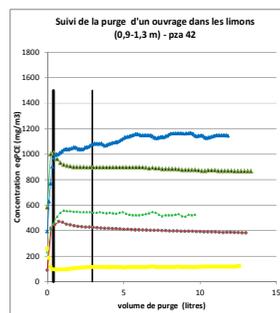
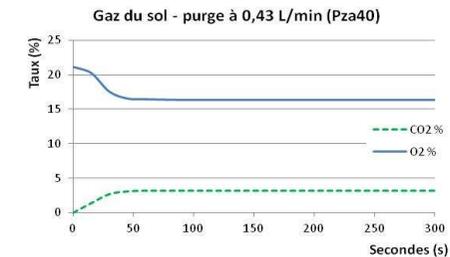


## Comment prélever?

1-Vérifier de l'étanchéité des piézairs

2-Adapter le débit aux méthodes de prélèvement et à la nature des terrains

3- Ne prélever qu'après une purge préalable au PID (stabilisation)



## Données nécessaires à l'interprétation

- Profil de saturation en eau (ou pluviométrie),
- Température, humidité, vent ...
- Pour des mesures sous bâtiment, si possible la différence de pression avec le bâtiment

# Air intérieur – Définir les objectifs



## Six objectifs bien distincts

- Identifier les zones émissives et d'accumulation
- Etablir le lien entre les concentrations dans l'air intérieur et le sol
- Confirmer l'absence d'impact
- Evaluer les expositions des populations
- Vérifier les concentrations résiduelles dans l'air après travaux
- Vérifier l'évolution de la situation



## Méthodologies de mesures spécifiques

- Intégration de la variabilité spatiale et temporelle
- Mesures quantitatives ou semi-quantitatives

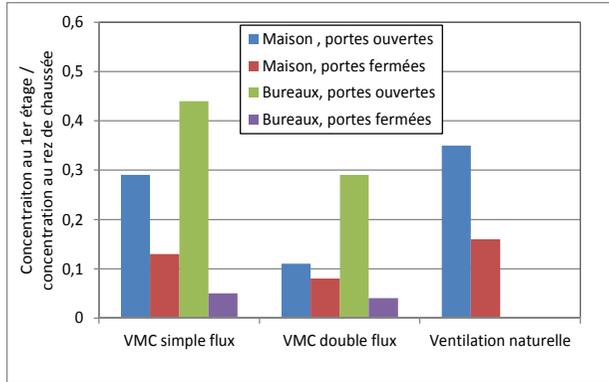
## Périodes propices en général

	Air intérieur	
	Plus favorable à des concentrations élevées	Moins favorable à des concentrations élevées
Saison	Fin d'hiver – début de printemps	Eté
Température	$T_{int} > T_{ext}$	$T_{int} < T_{ext}$
Pression	$P_{int} < P_{ext}$	$P_{int} > P_{ext}$
Vent	Stable et relativement élevé <i>(sauf bâtiments non étanches)</i>	Calme
Pluie	les jours précédents les mesures <i>(source sous bâti)</i>	Sec
Niveau de la nappe	Niveau de nappe haut	Niveau de nappe bas
Ouverture des portes et fenêtres vers l'extérieur	Fermées	Ouvertes
Chauffage	En marche	A l'arrêt
Ventilation mécanique	A l'arrêt	En marche

# Air intérieur – variabilité

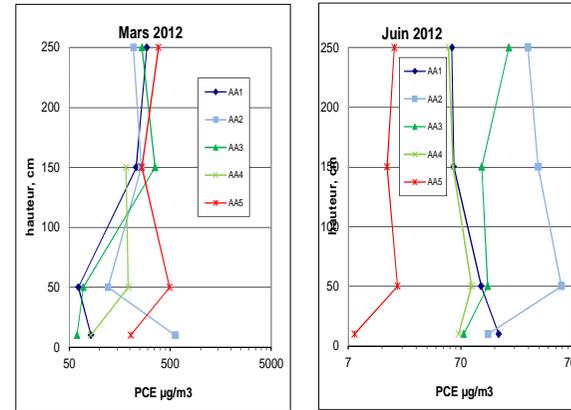


## Variabilité spatiale -Modélisations



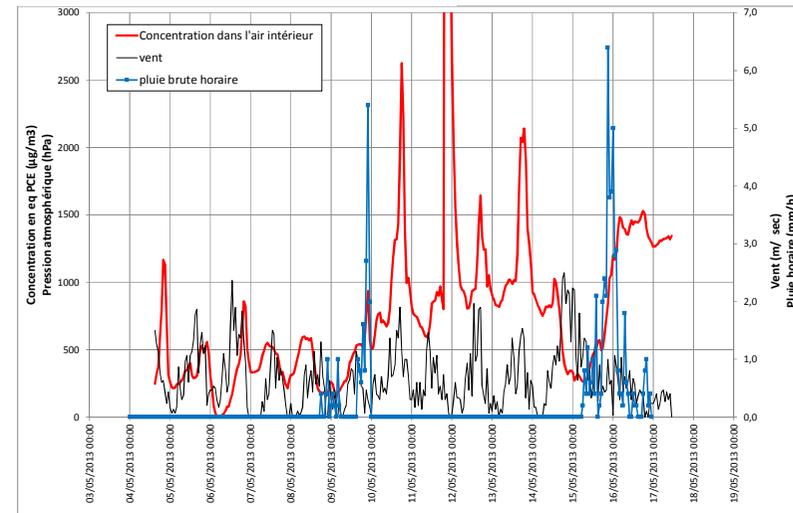
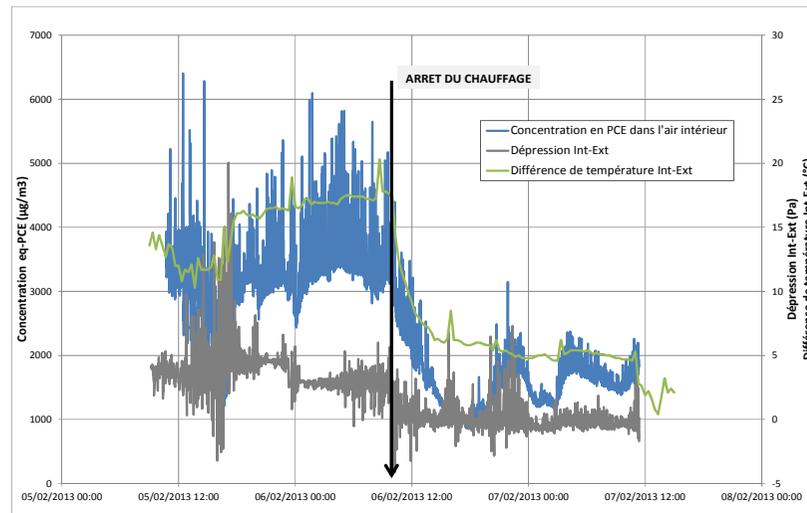
Abattement entre étages lié aux usages, systèmes de ventilation

## Illustrations sur le site atelier



Abattement lié aux hétérogénéités de pollution dans les sols et aux écoulements d'air

## Variabilité temporelle - illustrations sur le site atelier



# Air intérieur –Recommandations



Objectif de la mesure	Périodes de mesure	Type de mesure	Durée d'échantillonnage	Nombre minimal de points de mesures	Nombre minimal de campagnes
(1) Identifier les zones émissives et d'accumulation et établir le lien avec les concentrations dans le sol	Période propice aux transferts	mesures semi quantitatives de type PID avec une sensibilité au ppbV en premier lieu	mesures ponctuelles ou en continu (variations temporelles éventuelles)	Multiples dépendant du site; maillage a minima: au niveau de l'interface avec le sol, des zones préférentielles d'entrées (canalisation, fissures) et dans les zones d'accumulation	2 à 3
		mesures quantitatives	Longues périodes à privilégier si compatible avec l'absence de facteurs d'interférence.	Multiples dépendant du site (dont zones d'accumulation)	1 à 2
(1) Confirmer l'absence d'impact	Période propice aux transferts	mesures quantitatives		Multiples dépendant du site (dont zones d'accumulation)	2 à 3 en l'absence d'impact
(2) Evaluer les exposition des populations	Périodes contrastées (été / hiver)	mesures quantitatives	Représentatif de la fréquentation usuelle des lieux. Longues périodes à privilégier si compatible avec l'absence de facteurs d'interférence.	Multiples dépendant du site (ciblé sur les pièces de vie)	3 (2 en hiver et 1 en été)
(3) Vérifier les concentrations résiduelles dans l'air (après travaux)	Identique à la mesure de référence (pour comparaison). A priori en périodes contrastées	mesures quantitatives	Identique à la mesure de référence (pour comparaison), A priori représentatif de la fréquentation usuelle des locaux.	Identique à la mesure de référence (pour comparaison). Multiples dépendant du site (dont pièces de vies et zones d'accumulation)	2 à 3
(4) Vérifier l'évolution de la situation	Périodes contrastées (été / hiver)	mesures quantitatives	Identique à toutes les campagnes. Représentatif de la fréquentation usuelle des locaux.	Multiples dépendant du site (pièces de vies ainsi que les zones d'accumulation).	hiver et été durant 4 ans (pour bilan quadriennal)

# Les différents modèles et leur couplage



**MODÈLE 3**  
*Analytique sol+dalle*  
+  
Modélisation numérique de l'air intérieur en nodal (transitoire)

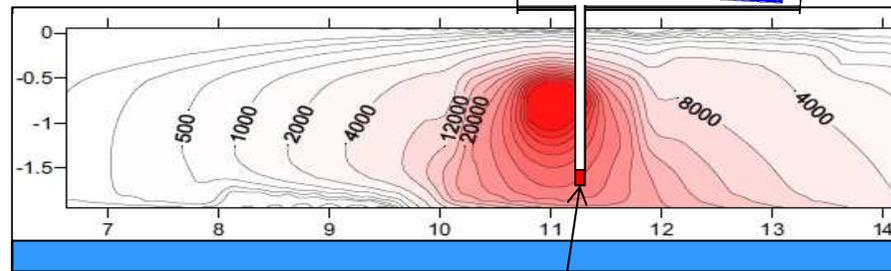
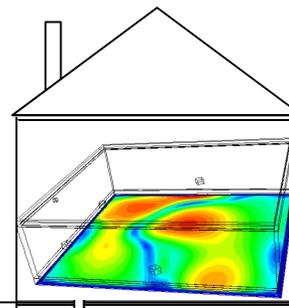
**MODÈLE 4**  
*Analytique sol+dalle*  
+  
Modélisation numérique de l'air intérieur en CFD (maillage)

**MODÈLE 1**  
Interprétation empirique des concentrations

**MODÈLE 2**  
Modélisation analytique 1D  
Sol+dalle+air

**MODÈLE 5**  
*Analytique Air intérieur*  
+  
Modélisation numérique du sol + dalle (maillage et fonctionnalités)

**MODÈLE 6 ET 7**  
Modélisation numérique du sol + dalle  
Modélisation numérique air intérieur  
CFD couplés ou intégral

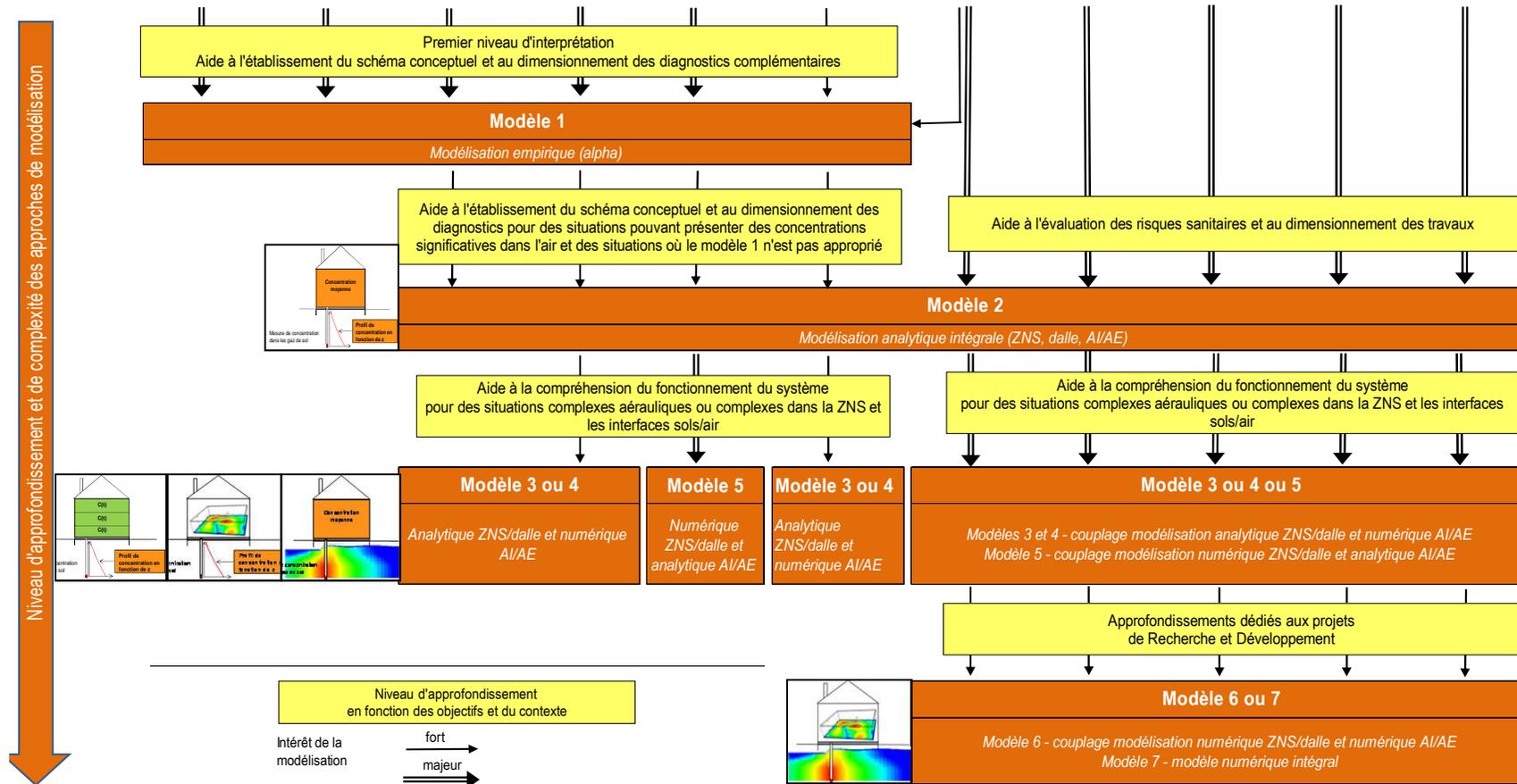


Mesure de concentration dans les gaz de sol

# Choix de l'outil de modélisation



Code de la prestation (NF X 31-620)	LEVE	LEVE	IEM*	CPIS (surveillance)	PG	CPIS (surveillance)	PG	IEM*	PG	PG	PG
Objectifs	Mettre en évidence une éventuelle présence de COV (premier schéma conceptuel)	Dimensionner les diagnostics	Mettre en évidence un transfert vers les milieux d'exposition	Concevoir le programme de surveillance	Cartographier la pollution des sols	Suivre la qualité des milieux et interprétation	Caractériser les émissions vers l'air	Etablir un lien de causalité avec la pollution des sols	Bâtiment futur : Estimer l'exposition future liée à la qualité de l'air intérieur	Estimer l'exposition future liée à la qualité de l'air extérieur	Etudier et dimensionner les mesures de gestion



# Mise en œuvre de la modélisation (1/2)



## Distinction des objectifs

## Schématisation & fonctionnalités requises

- Ex. pour le modèle 2 : choix en fonction du mode constructif

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

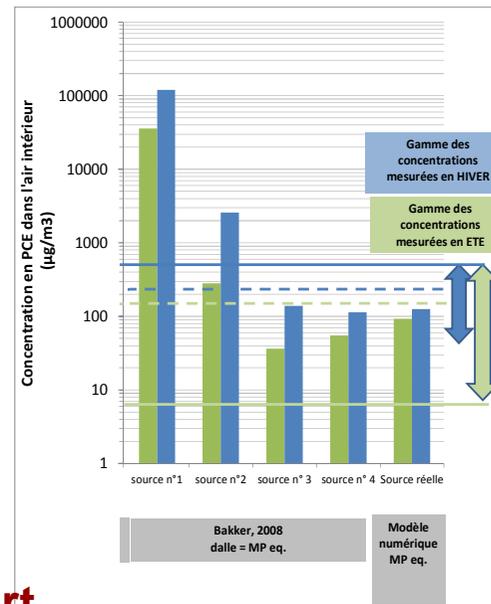


**La comparaison de solutions constructives nécessite des fonctionnalités similaires des modèles**

# Mise en œuvre de la modélisation (2/2)

## Choix de la concentration dans les gaz du sol

Fiabilité dans le résultat d'une modélisation associée à la représentativité des concentrations et paramètres retenus →



## Choix des paramètres de transfert

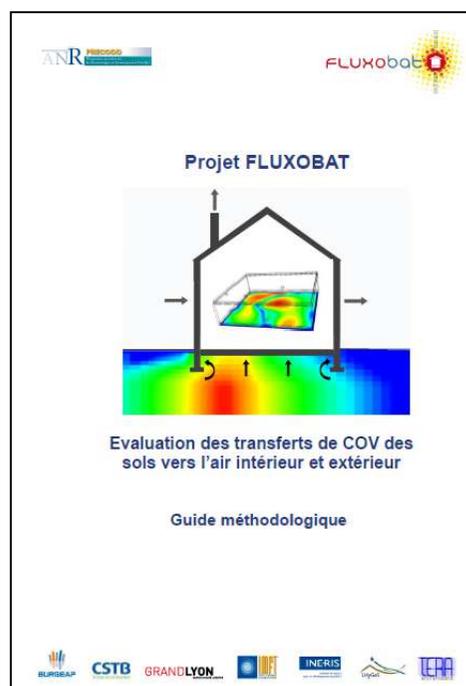
Mesures physiques :

- Paramètres majeurs des sols ( $K_g$ ,  $n$ ,  $n_g$ ,  $K_d$ )
- Paramètres majeurs de l'interface sol / bâtiment ( $K_g$ ,  $D_{eff}$ ,  $K_d$ )

## Calage , étude de sensibilité et simulations



Guide méthodologique à paraître  
[www.fluxobat.fr](http://www.fluxobat.fr)



Merci de votre attention

---

# Avantages – inconvénients des modèles



## Outils actuellement largement employés

Modèle	Intérêts	Limites	Budget temps*	Technicité
<b>Modèle 1</b> $C_{\text{air intérieur}} = \alpha \cdot C_{\text{gaz du sol}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidité</li> <li>- Discrimination des situations pour lesquelles les concentrations dans l'air intérieur sont significatives ou non</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approche empirique ne tenant pas compte des spécificités du site</li> <li>- Hypothèses majorantes</li> <li>- Utilisation limitée à l'élaboration du schéma conceptuel</li> </ul>	heure	aucune
<b>Modèles 2</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidité</li> <li>- Possibilité de traiter différents types de fondation</li> <li>- Utilisation à des fins descriptives et prospectives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non prise en compte des hétérogénéités de pollution, de lithologie (dans le plan) et de soubassement (Schématisation simplifiée 1 D)</li> <li>- Absence actuelle d'un modèle intégré reprenant tous les mécanismes nécessaires pour une dalle indépendante</li> <li>- Ne permet pas l'évaluation des hétérogénéités dans l'air (concentration moyenne dans un espace correspondant au bâtiment)</li> </ul>	Quelques jours	faible
<b>Modèles 3</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de traiter des situations complexes aérauliques nécessitant l'évaluation de l'évolution temporelle dans l'air intérieur</li> <li>- Possibilité de discrétiser les espaces intérieurs pour évaluer la variation spatiale et les échanges entre pièces/ niveaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites identiques à celles formulées pour le modèle 2 pour les compartiments ZNS et dalle</li> <li>- Représentativité des mesures de flux surfaciques si ceux-ci sont mesurés</li> <li>- Diffusion dans l'air intérieur non considérée</li> </ul>	Quelques jours	Moyen / Elevée
<b>Modèles 4</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de traiter des situations complexes aérauliques nécessitant la discrétisation spatiale intérieure</li> <li>- Prise en compte de l'ensemble de la physique du compartiment air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limites identiques à celles formulées pour le modèle 2 pour les compartiments ZNS et dalle</li> <li>- Représentativité des mesures de flux surfaciques si ceux-ci sont mesurés</li> </ul>	Quelques semaines	Elevée
<b>Modèles 5</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possible intégration de l'ensemble de la physique dans le sol</li> <li>- Prise en compte des hétérogénéités de pollution, de sol et d'interface entre le sol et l'air intérieur</li> <li>- Possibilité de traiter les impacts hors site (géométrie de panaches) et de modéliser les phénomènes transitoires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne permet pas l'évaluation des hétérogénéités de concentrations dans l'air (concentration moyenne dans un espace correspondant au bâtiment)</li> </ul>	Quelques semaines	Elevée
<b>Modèles 6</b> <b>Modèles 7</b>	<b>Modèle 6 : Avantages des modèles 4 et 5</b> <b>Modèle 7 : Intégration de l'ensemble de la physique couplée</b>	<b>Temps nécessaire à sa mise en œuvre</b>	Plusieurs semaines à mois	Experte