



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Journée technique d'information et
de retour d'expérience
de la gestion des sites et sols pollués**

Mardi 9 novembre 2021

**Organisée par l'Ineris et le BRGM, en concertation avec le
Ministère de la transition écologique**



*maîtriser le risque |
pour un développement durable*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

TRANSFERTS DE VAPEURS DES SOLS VERS L'AIR INTERIEUR

Etude des limites associées à l'utilisation des logiciels
basés sur les modèles de Johnson et Ettinger ou Volasoil
et possibilités d'amélioration

Roseline BONNARD

Ineris

De nombreux travaux ont été réalisés sur le sujet et ont mis en évidence les :

- Difficultés de la mesure (variabilités spatiales et temporelles)
- Difficultés de la modélisation (phénomènes complexes, difficultés d'acquisition de données d'entrée représentatives)

Modèles numériques 2-D (voire 3-D) :

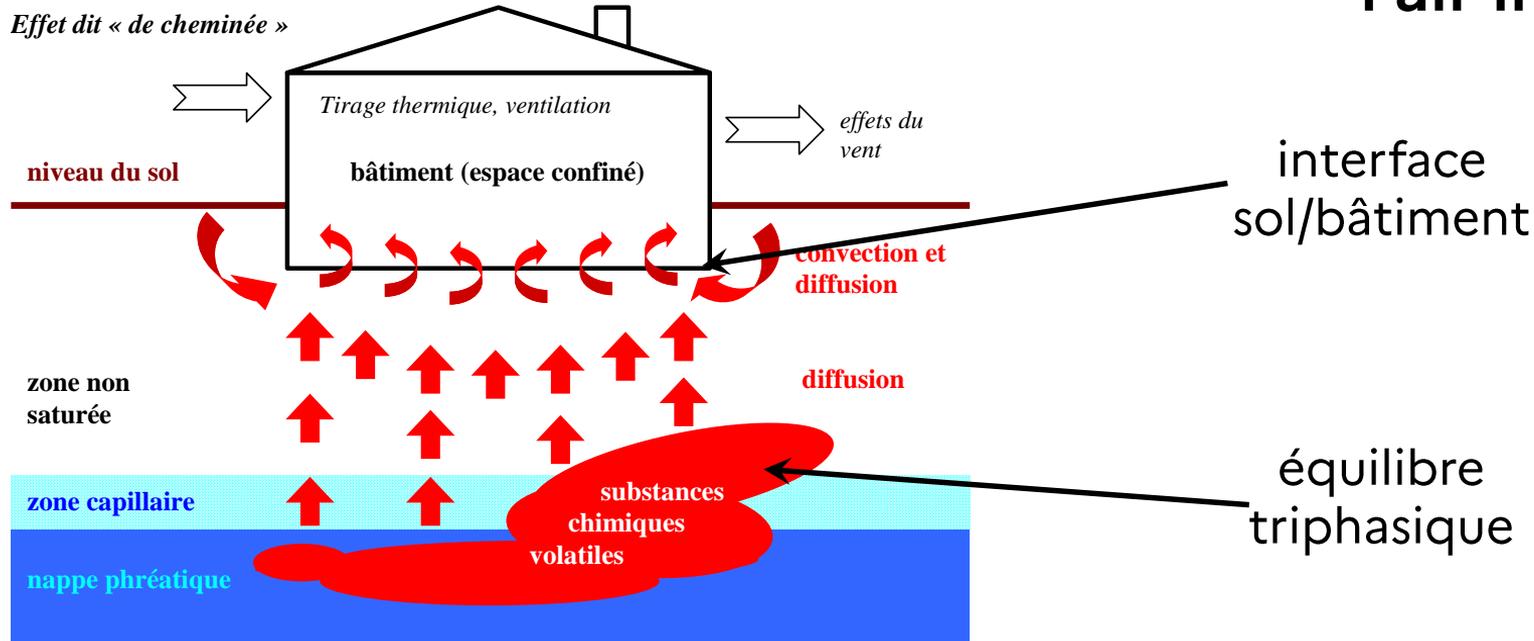
- Permettent de représenter les transferts de manière plus réaliste que les modèles analytiques 1-D (modèles de Waitz et al., Bakker et al, Johnson et Ettinger)
- Mais utilisation rare dans le cadre de plans de gestion et de projets de réhabilitation car mise en œuvre complexe

D'où utilisation des modèles analytiques 1-D malgré les nombreuses limites.

Objectif de l'étude

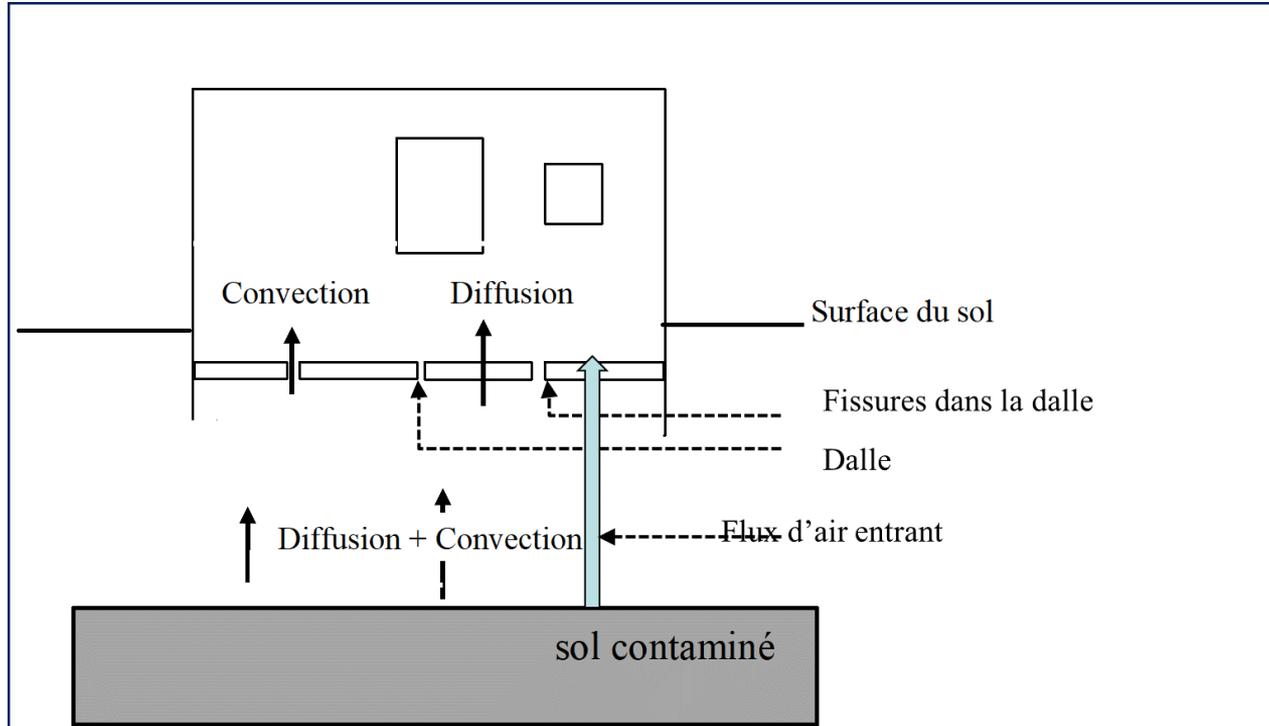
- **A partir des travaux précédents, identifier les points d'amélioration possibles de ces modèles 1-D, notamment pour le logiciel de modélisation multimedia MODUL'ERS**

Rappel sur les principes de l'émission de polluants volatils dans l'air intérieur

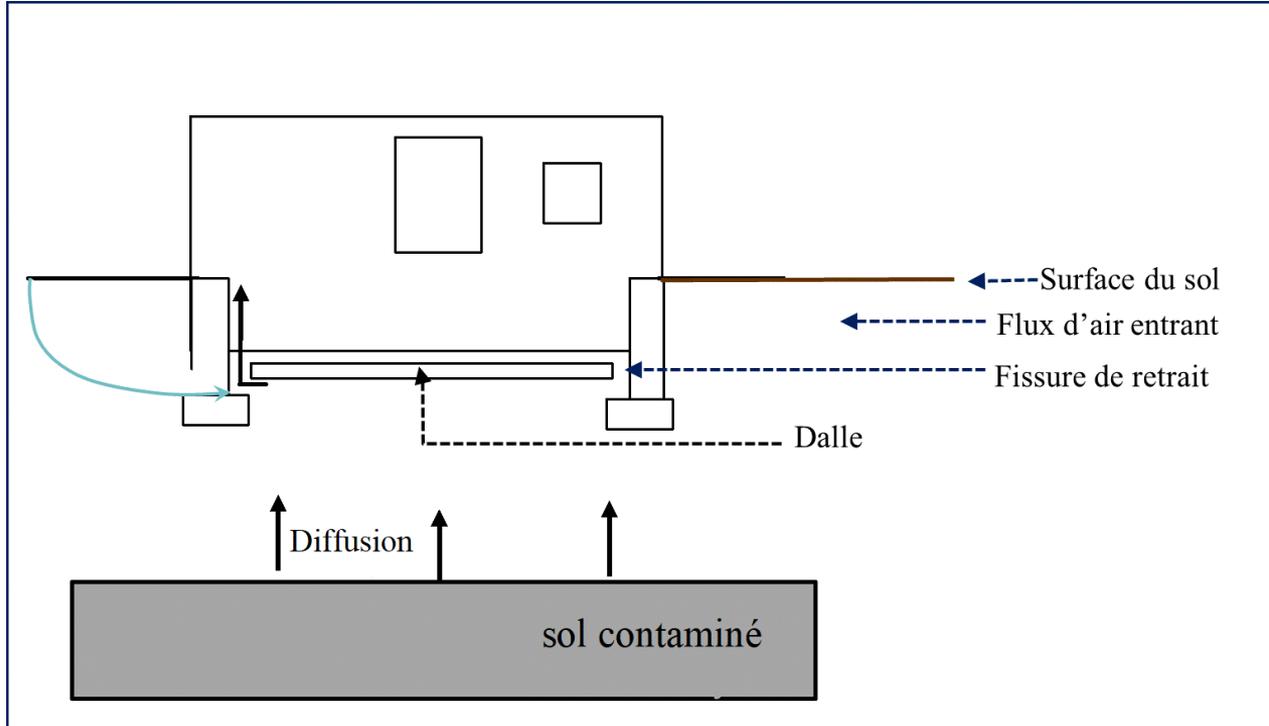


Principe général de l'émission de vapeurs du sol ou de la nappe vers les bâtiments

Représentation des mécanismes de transfert dans le modèle Volasoil (adaptation MODUL'ERS)



Représentation des mécanismes de transfert dans le modèle de Johnson et Ettinger



Différences entre VOLASOIL et le modèle de Johnson et Ettinger

	VOLASOIL	Johnson et Ettinger
Zone d'influence de la convection	Toute la colonne de sol de la source à la dalle	De la surface du sol au bas de la dalle
Zone d'influence de la convection	Ascendant et vertical, estimé à partir de la résistance des différentes couches entre la source et l'intérieur du bâtiment	A partir de la perméabilité du sol au niveau de la dalle et de la profondeur de la surface inférieure de la dalle
Flux massique du polluant de la source à la dalle	Diffusion et convection	Diffusion uniquement
Passages au niveau de la dalle	Pas de passage par des points singuliers (canalisations, fissures...)	Fissure périphérique (jonction entre les murs de fondation et la dalle)
Passage par convection au niveau de la dalle	Oui : perméabilité du milieu à définir ou estimée à partir de la densité et du rayon de trous	
Passage par diffusion au niveau de la dalle	Oui par la porosité ouverte du matériau de la dalle	Oui au niveau de la fissure périphérique uniquement : utilisation de la porosité à l'air du sol au niveau de la dalle
Passage par les murs enterrés	oui dans la version de Bakker et al.	non
Type de construction	Bâtiments sur vide sanitaire ou ayant une dalle intacte ou dégradée, sans fissure périphérique : dalle portée ou cuvelage	Bâtiments construits sur un dallage indépendant (sans hérisson) dont le défaut d'étanchéité principal se situe sur le périmètre du bâtiment

Différences entre les deux modèles

- 2 modèles correspondant à des types de construction différentes
 - Basés sur des hypothèses de transfert dans le sol et les matériaux différentes
 - Aucun des deux ne permet de couvrir tous les cas de figure
- ➔ Impossible à partir de ces deux modèles de comparer de manière cohérente :
- Les résultats obtenus d'une étude à une autre
 - D'analyser l'impact de modifications apportées à la construction et à ses fondations sur les transferts

Principales modifications proposées pour la représentation des transferts dans le cadre d'un modèle 1-D

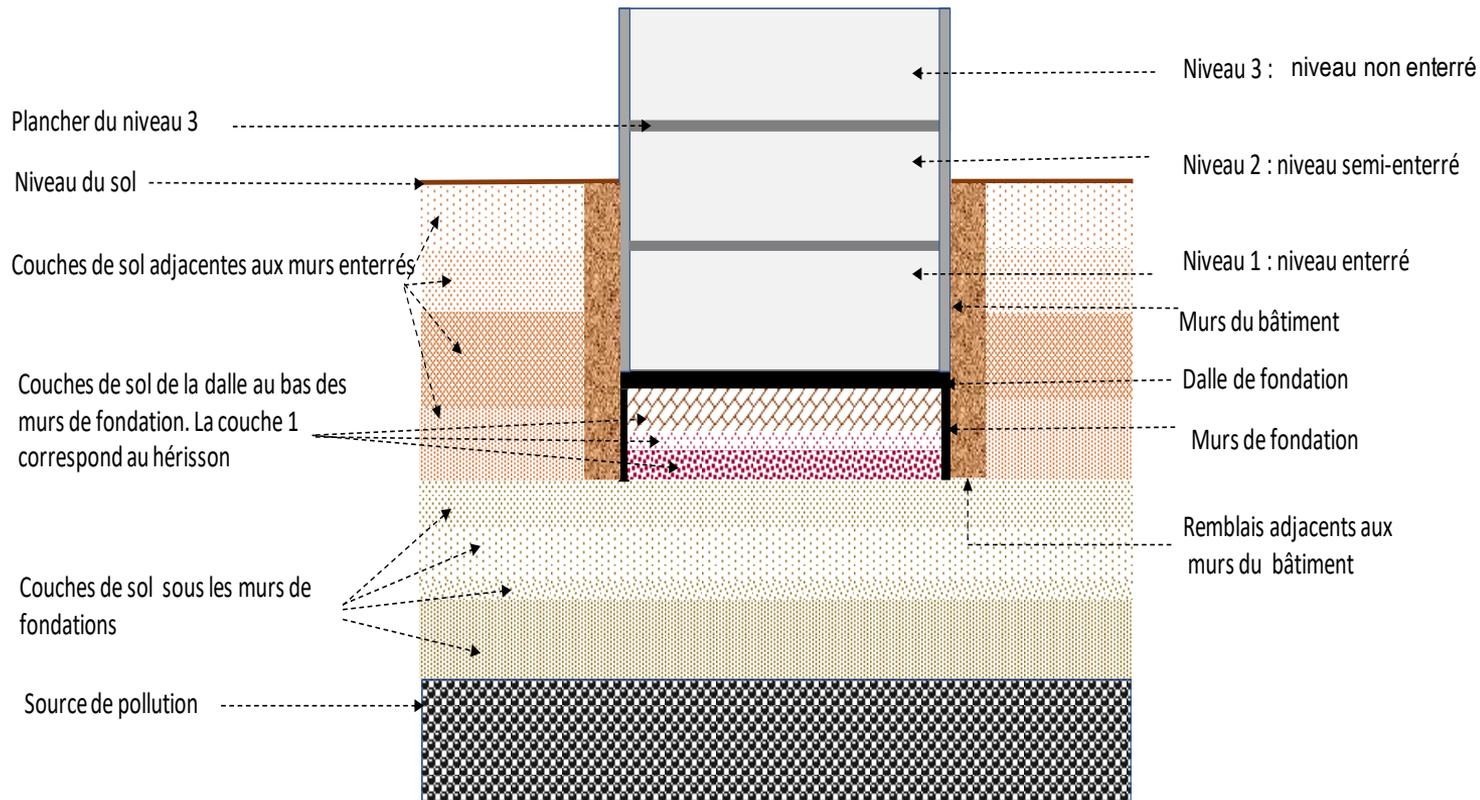
1. Estimer le débit d'air entrant dans le bâtiment de manière spécifique selon le type de soubassement
 - Approches basées sur les lignes de courant (adaptées des travaux de Diallo, 2013)
 2. Représenter les mécanismes de transfert des polluants dans le sol par diffusion et convection avec une zone d'influence de la convection d'une hauteur limitée, et pouvant tenir compte de la perméabilité des différentes couches de sol présentes sous le bâtiment
 - ➔ Approche intermédiaire entre le modèle de Johnson et Ettinger et Volasoil
 3. Prendre en compte les transferts par les murs enterrés
 - En considérant le flux de diffusion de la source au bas des murs du bâtiment et le passage des polluants au niveau des murs par un flux de convection et diffusion couplé
- + divers ajustements ou apports :
- estimer les transferts entre les niveaux d'un bâtiment par modélisation du flux de convection et diffusion au travers des planchers ; utiliser le coefficient diffusion dans l'air au niveau des fissures, la perméabilité relative pour obtenir la perméabilité effective des sols

Caractéristiques du nouveau module sous MODUL'ERS

Permettant la prise en compte de :

- Différentes configurations de construction de bâtiment :
 - Comptant de 1 à 5 niveaux
 - Dalle portée, dallage indépendant ou sol nu
 - Présence ou non de sous-sols enterrés ou d'un vide sanitaire
 - Présence ou non de remblai contre les murs enterrés
 - Présence ou non d'un hérisson sous la dalle
- L'impact de différentes mesures constructives :
 - Présence de revêtements imperméabilisants ou étanches au niveau de la dalle et/ou des murs enterrés du bâtiment
- Différentes options de modélisation - Exemples :
 - Calcul du transfert de polluants entre niveaux par modélisation des flux de convection et diffusion ou par un facteur d'atténuation
 - Calcul de la perméabilité de la dalle et des planchers à partir des points singuliers ou d'une valeur de perméabilité globale, avec prise en compte ou non d'une « fissure périphérique »
 - Prise en compte ou non du contrôle de la masse initiale de polluant dans le sol

Caractéristiques du nouveau module sous MODUL'ERS



- Bâtiment de forme carrée ou rectangulaire
- Des hypothèses simplificatrices importantes :
 - Des règles de limitation de la hauteur de la zone d'influence de la convection ont été définies ;
 - Pour la zone allant du bas des murs de fondations jusqu'au bas de la zone d'influence de la convection, le calcul du débit d'air circulant ne prend en compte que la valeur de perméabilité de la couche de sol située immédiatement sous les murs de fondation ;
 - Le débit d'air traversant les différentes couches de sol de la zone d'influence de la convection, est identique sur toute la hauteur de cette zone
- Sources de pollution de position latérale par rapport au bâtiment ne pouvant pas être prises en compte, sauf cas particuliers :
 - Polluant présent dans la nappe avec toit de la nappe remontant au-delà du bas des murs enterrés des sous-sols ou du vide sanitaire
 - Pollution située sous le bâtiment, définie par une concentration dans le sol et remontant aux niveaux des murs enterrés des sous-sols ou du vide sanitaire sous certaines conditions relatives aux caractéristiques des différentes couches de sol

Limites communes à d'autres modèles 1-D

- Modèles 1-D alors que les phénomènes à représenter sont tridimensionnels
 - Hypothèse de lignes d'isoconcentration des gaz dans le sol horizontales sous le bâtiment :
or la perméabilité du sol a un impact sur les lignes d'isoconcentration : gradient qui augmente au centre de la dalle ou lessivage du sol par le flux convectif
 - ➡ impact sur le flux de polluant entrant par diffusion
 - Hypothèse de conservation de la masse de polluant dans la colonne de sol allant de la source à l'intérieur du bâtiment
 - ➡ risque de sous-estimation du flux de polluant entrant pour un sol à perméabilité élevée
 - ➡ risque de sur-estimation du flux de polluant entrant pour un sol à perméabilité faible
 - Représentation du sol par des couches horizontales homogènes et isotropes et source définie par une concentration homogène, à une profondeur donnée
- Pas d'atténuation de la source au cours du temps (contrôle de la masse initiale de la masse de polluant présente dans le sol dans certains cas)
 - Modélisation supposant la source stationnaire

Conclusions et perspectives

- Nouveau module plus polyvalent et plus complexe à utiliser, avec de nombreuses options permettant :
 - De mieux tenir compte des spécificités de chaque type de construction
 - D'estimer l'impact d'un certain nombre de dispositions relatives à la construction
- Mais module 1-D avec des hypothèses simplificatrices importantes
- Nécessitant le développement d'une nouvelle version de la plateforme MODUL'ERS
 - Des travaux importants à réaliser avant diffusion