

Colloque annuel de l'AQVE

Montréal, 25 avril 2019

CONTAMINANTS DANS L'AIR INTERSTITIEL DU SOL ET DU ROC
Genèse, détection, échantillonnage et mesures correctives



Jean Paquin, ing., EESA®

SANEXEN
SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC.

Des observations bien faites permettent de détecter des situations dangereuses et peuvent prévenir des désastres.



Sachez reconnaître les signes de canalisations souterraines de gaz naturel non étanches comme:

- une odeur de mercaptan;
- de la végétation jaunie au-dessus de conduites.

Repérez les sources potentielles d'ignition





Gaz naturel

Quelques notes

- Il s'agit de méthane, un gaz inodore (lorsque sans mercaptan) et plus léger que l'air
- Le réseau est vieillissant
- Les conduites sont le plus souvent à une faible profondeur, à environ 0,6 m à 1 m de la surface
- Dans une grande ville comme New York, 1 % du gaz ne se rend pas à destination
- La limite inférieure d'explosivité est 5 % de méthane dans l'air, ou 100 % de la LIE sur un détecteur 4 gaz
- Le seuil de détection de l'odeur de mercaptan est très variable d'une personne à une autre, mais perceptible à très faibles concentrations, dans les ppb (on sent le mercaptan bien avant d'avoir une concentration inflammable/explosive de méthane)
- Soyez vigilants pour observer des mouvements de terrain, fissures, bulles de gaz apparaissant dans l'eau d'un puits ou de l'eau de surface
- Les accidents avec explosion, feu, pertes de vie et pertes matérielles sont rares, mais se produisent occasionnellement là où se trouvent des réseaux de gaz naturel

Présence d'une conduite de gaz naturel

Quelques notes

- Localisation avec Info-excavation; vérifier au besoin avec Énergir (Gaz Métro)
- Localisation des entrées de gaz le long des immeubles
- Marquage en surface avec une peinture jaune s'il y a des travaux
- Seules les conduites principales en service sont identifiées sur les plans. Les branchements d'immeuble et d'autres équipements n'y apparaissent pas, sauf exception.



Distances à respecter

Classe de pression (kPa)	Dégagement à respecter (canalisation non visible)	Rapprochement permis une fois la canalisation visible
Classe 700 et moins	1m (3 pi.)	300 mm (12 po.)
Classe 1000 à Classe 2900	1m (3 pi.)	60 mm (24 po.)
Plus de Classe 2900	3m (10 pi.)	1m (3 pi.)

Note : La classe de pression de la canalisation de gaz naturel est indiquée sur l'ordre de localisation

- La profondeur des branchements d'immeuble est différente de celle de la conduite principale sur laquelle ils sont raccordés. La profondeur des branchements d'immeuble en terrain privé est souvent inférieure à la profondeur des branchements en terrain public;
- Aucun équipement de compactage ne doit être utilisé avant que le remblai au-dessus des canalisations de gaz naturel et des raccords n'atteigne 300 mm (12 po);
- Un ruban avertisseur (fourni par Énergir) indiquant la présence d'une canalisation de gaz est placé à une distance variant entre 300 et 400 mm (12 et 16 po) sous la surface;



Travaux à proximité de conduites de gaz naturel

Quelques références

Protection des infrastructures souterraines, pratiques d'excellence, version 2.0, octobre 2016, L' Alliance pour la protection des infrastructures souterraines, Canadian Common Ground Alliance (CCGA)

<https://www.digsafeab.ca/resources/Documents/CCGA%20Pratiques%20d-excellence%20-%20Volume%202.0.pdf>

Prévention des dommages aux infrastructures souterraines, Gérant et gestionnaire de projet, version 2, mars 2015, Info Excavation

https://www.info-ex.com/wp-content/uploads/2013/11/Outil_chantier_gerant_2015_final.pdf

Guide-des-travaux-à-proximité-des-installations-de-gaz-naturel, Gazifère (Enbridge), août 2013

<https://www.gazifere.com/wp-content/uploads/2015/03/Guide-des-travaux-%C3%A0-proximit%C3%A9-des-installations-de-gaz-naturel-2013.pdf>



Contaminants dans l'air interstitiel du sol et du roc

De quoi parle-t-on?

Les acteurs

- Méthane (biogaz, gaz naturel)
- COV chlorés (comme PCE, TCE, TCA)
- COV non chlorés (comme BTEX, MEK, MIBK)
- COSV (comme naphthalène, mazout domestique)
- H₂S et NH₃ (dans des conditions de pH anormales)
- Composés malodorants (comme DMDS, TMA)
- Radon
- Mercure (et méthyl mercure)
- Autres (voir liste des 101 composés de la méthode TO-15)

PCE: perchloroéthylène
TCE: trichloroéthylène
TCA: trichloroéthane

MEK: methyl ethyl ketone
MIBK: methyl isobutyl ketone
BTEX: benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes

DMDS: dimethyl disulfide
TMA: trimethyl amine

Exemples de
situations à risques

- Fuites de carburants (ex. essence, kérosène)
- Pertes de solvants (TCE, TCA, toluène les plus fréquents)
- Nettoyeurs à sec (PCE)
- Anciens sites d'enfouissement ou de dépôt, fosses septiques, bassins ou égouts avec entretien inadéquat (biogaz, H₂S)
- Gestion d'urée ou de purin en vrac (NH₃)
- Usines/installations utilisant des COV (ex. résines avec formaldéhyde; bois aggloméré ou styrène; fibre de verre)
- Usine de placage (HCN ou autres acides)
- Non étanchéité de conduites de gaz naturel

Densités relatives de gaz par rapport à l'air (air: 1)

Gaz plus légers que l'air

- Méthane (0,56)
- Ammoniac (0,60)
- Acide cyanhydrique (HCN) (0,69)
- Biogaz (65 % CH₄, 35 % CO₂) (0,95)

Gaz plus lourds que l'air

- Sulfure d'hydrogène (1,2)
- Propane (1,56)
- Chlore (Cl₂) (2,5)
- Benzène (2,9)
- Trichloroéthylène (4,5)
- Radon (8,0)

Pour évaluer la densité, faites une règle de trois en utilisant les poids moléculaires (air : 29)

Sources: https://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html , Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials

Équilibre selon les conditions biochimiques du milieu

Conditions acides

Conditions alcalines

H_2S (gaz nuisible/dangereux) \leftrightarrow S^{2-} (ions non dangereux à pH neutre ou alcalin)

NH_4^+ (ions non dangereux) \leftrightarrow NH_3 (gaz nuisible/dangereux)

HCN (gaz dangereux) \leftrightarrow CN^- (ions non immédiatement dangereux)

Conditions anaérobies

Conditions aérobies

H_2S et/ou S^{2-} (selon le pH) \leftrightarrow H_2SO_4 et SO_4^{2-} (selon le pH)

NH_4^+ et/ou NH_3 (selon le pH) \leftrightarrow NO_3^- et/ou biomasse

Le pH et le potentiel redox du milieu constituent donc des informations importantes



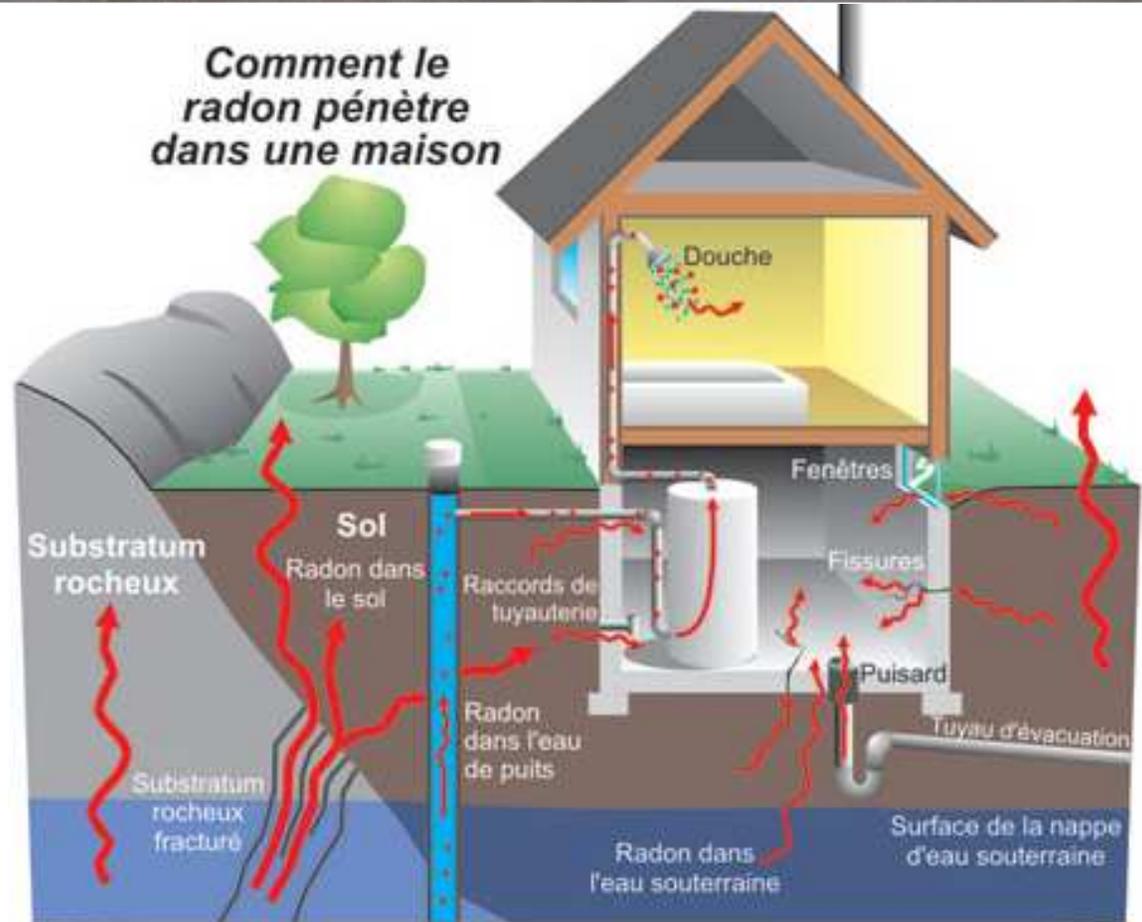
Chauffage des bâtiments et effet de cheminée

- L'air chaud est plus léger que l'air froid
- Le chauffage en hiver crée alors un mouvement ascendant d'air (effet de cheminée)
- Ceci crée une aspiration de l'air interstitiel des sols sous-jacent s'il y a des ouvertures à la base du bâtiment (fissures dans la dalle, puisard, vide sanitaire, etc.)
- Ceci contribue grandement à une infiltration (intrusion) de vapeur/gaz pour les composés qui ont une volatilité suffisante

- Le radon est un gaz radioactif naturellement présent dans le socle rocheux de certaines régions, en particulier en Montérégie
- Il s'agit de la deuxième cause du cancer du poumon après le tabagisme (10 à 16% des cas, 600 décès par année au Québec)
- La proximité du socle rocheux est un facteur important
- Ligne directrice canadienne: 200 Bq/m³
- Mesures de détection et de correction simples
- Considéré dans certaines localisations lors de la revente de bâtiment

<https://www.quebec.ca/habitation-et-logement/milieu-de-vie-sain/radon-domiciliaire/>

Comment le radon pénètre dans une maison



<https://www.rncan.gc.ca/accueil>



Contaminants dans l'air interstitiel du sol et du roc

Détection

Appareils les plus souvent utilisés

- Un photoioniseur (ou PID pour *Photo Ionization Detector*)
- Un détecteur 4 gaz (% LIE, O₂, H₂S, CO)

La fonction % LIE (limite inférieure d'explosivité, LEL en anglais) permet de vérifier la concentration de gaz inflammables

Ces appareils peuvent être équipés avec d'autres cellules pour mesurer des paramètres autres comme CO₂ ou NH₃

- Des tubes colorimétriques (ex Draeger) avec pompe manuelle pour des composés individuels

Méthodes les plus souvent utilisés

- Bombonnes sous vide Summa (pour échantillonnage sur plusieurs heures)
- Sacs Tedlar
- Assemblage avec pompe, rotamètre et tubes d'adsorption (ex NIOSH 1501)

Méthodes les plus souvent utilisés

- EPA 624 (pour les COV) et EPA 625 (pour les COSV)
- EPA TO-15 (pour une centaine de composés)
- Méthodes individuelles selon les composés ciblés

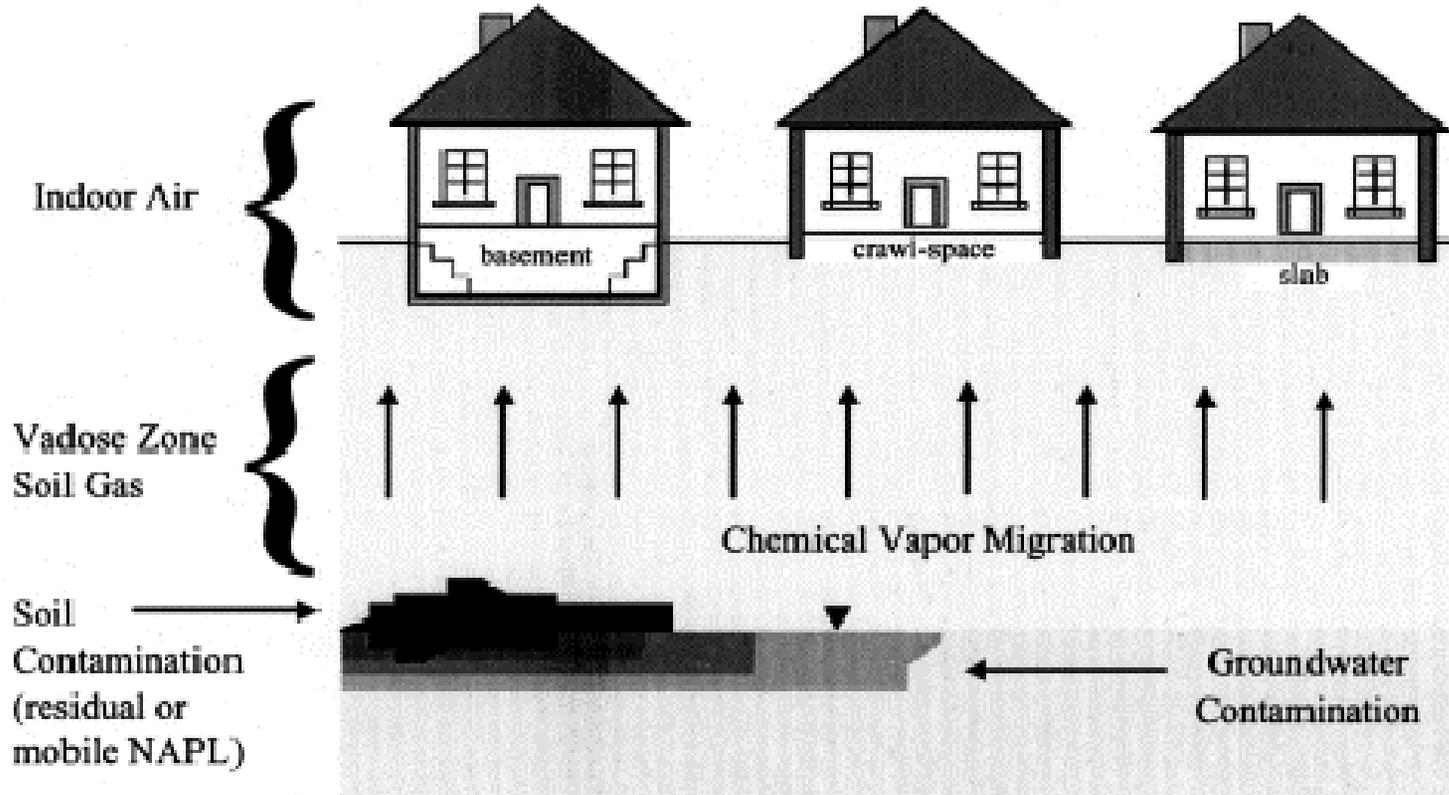


Infiltration de vapeurs

- » Entrée de contaminants volatils ou semi-volatils sous forme de gaz/vapeurs dans un bâtiment, à partir du sol ou roc/eau souterraine
- » Problématique
 - » Connue depuis longtemps
 - » Prise en compte par la plupart des juridictions
 - » Canada (fédéral et provinces), États-Unis, France, etc.
 - » Peu ou pas considérée au Québec (critères B/C et RES) (ex critère RESIE de CV à 57 000 µg/L)
... jusqu'à récemment
- » Guide d'intervention (MELCC 2019)
 - » L'infiltration de vapeur doit être considérée lors de l'évaluation d'un site contaminé
 - » Voir section 8.2.3, page 185 du Guide d'intervention
 - » Recours aux critères génériques GW2 de l'Ontario (valeurs très basses)

Infiltration de vapeurs

Modèle conceptuel de l'infiltration de vapeur



Source: U.S. EPA (2012). *Conceptual Model Scenarios for the Vapor Intrusion Pathway.*

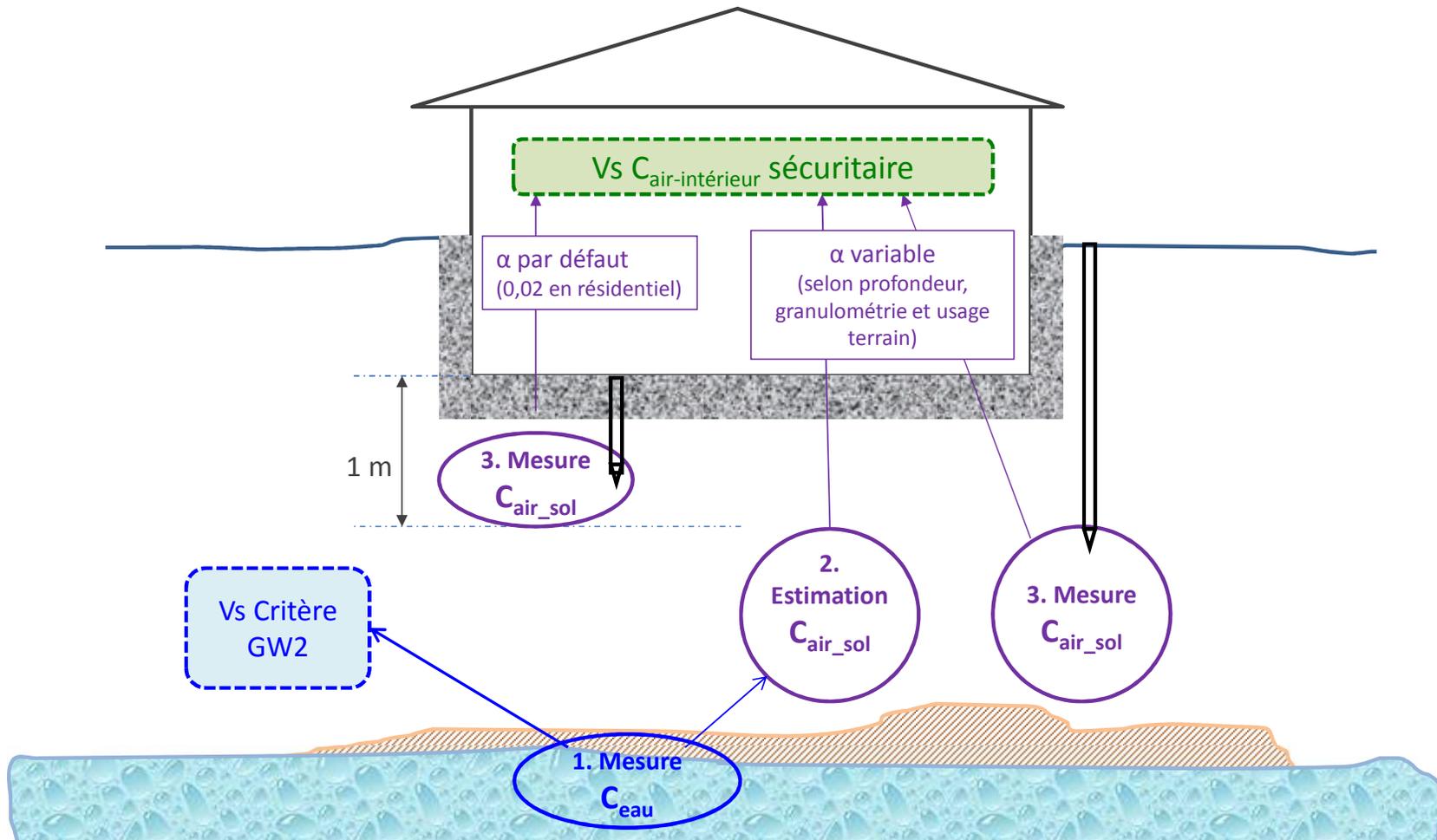


Infiltration de vapeur Guide d'intervention (2019) – Instructions

- » Possibilité d'infiltration de *substances volatiles* même si les critères génériques (B/C) sont respectés
- » Trois options (figure à la diapo suivante)
 1. Concentration eau souterraine vs critère GW2 de l'Ontario
 2. Concentration eau souterraine et approche de Santé Canada
 - Estimation de concentration air interstitiel ($C_{\text{air-sol}}$)
 - Sélection facteur d'atténuation (FA ou α), selon profondeur, usage et type de sol
 - Calcul concentration air intérieur ($C_{\text{air-int}} = \alpha \times C_{\text{air-sol}}$),
 - Comparaison avec concentration sécuritaire (voir DSP)
 3. Concentration air interstitiel du sol et approche de Santé Canada

Dans tous les cas : s'assurer du respect des conditions applicables (profondeur, état dalle, voies préférentielles, etc.)

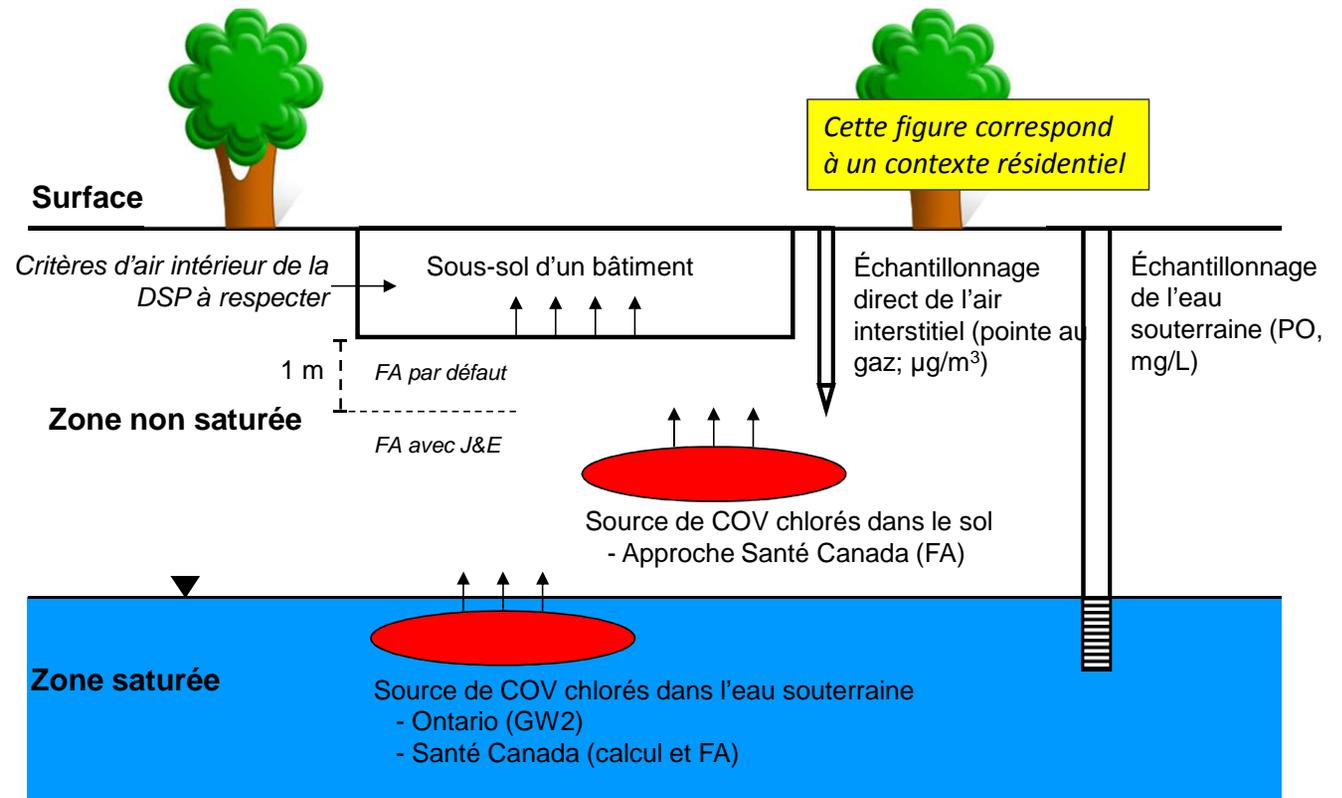
Approche MELCC - Figure simplifiée



Extrait de formation aux experts (MDDELCC, oct. 2016)

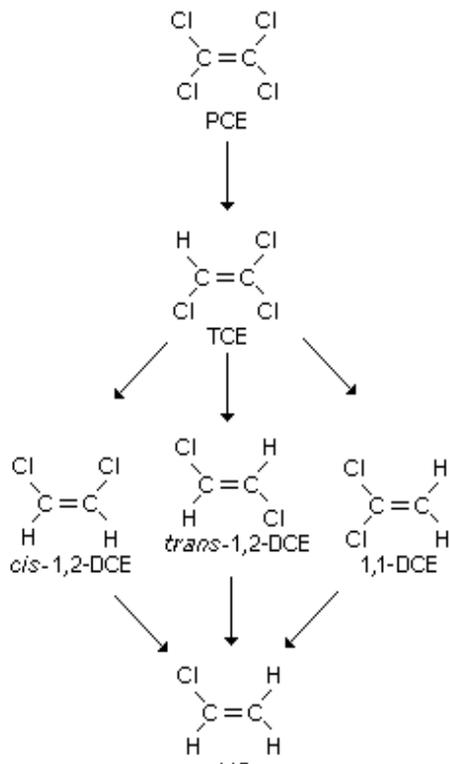
Les critères pour les sols (GI 8.2)

Les critères pour l'intrusion de vapeur (GI 8.2.3)



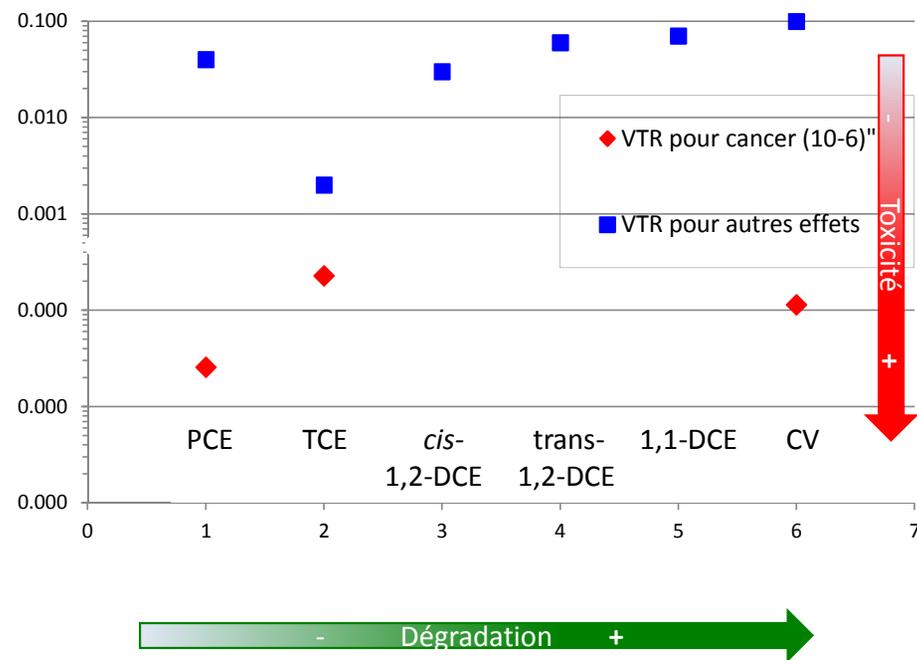
- FA par défaut suggéré par Santé Canada : 0,02
- FA par défaut J&E : modèle de *Johnson and Ettinger (1991)*
 - Graphiques selon granulométrie des sols et usage du terrain

Sous-produits du tétrachloroéthylène (PCE) et du trichloroéthylène (TCE)



Dégradation des chloroéthylènes en chlorure de vinyle (CV)

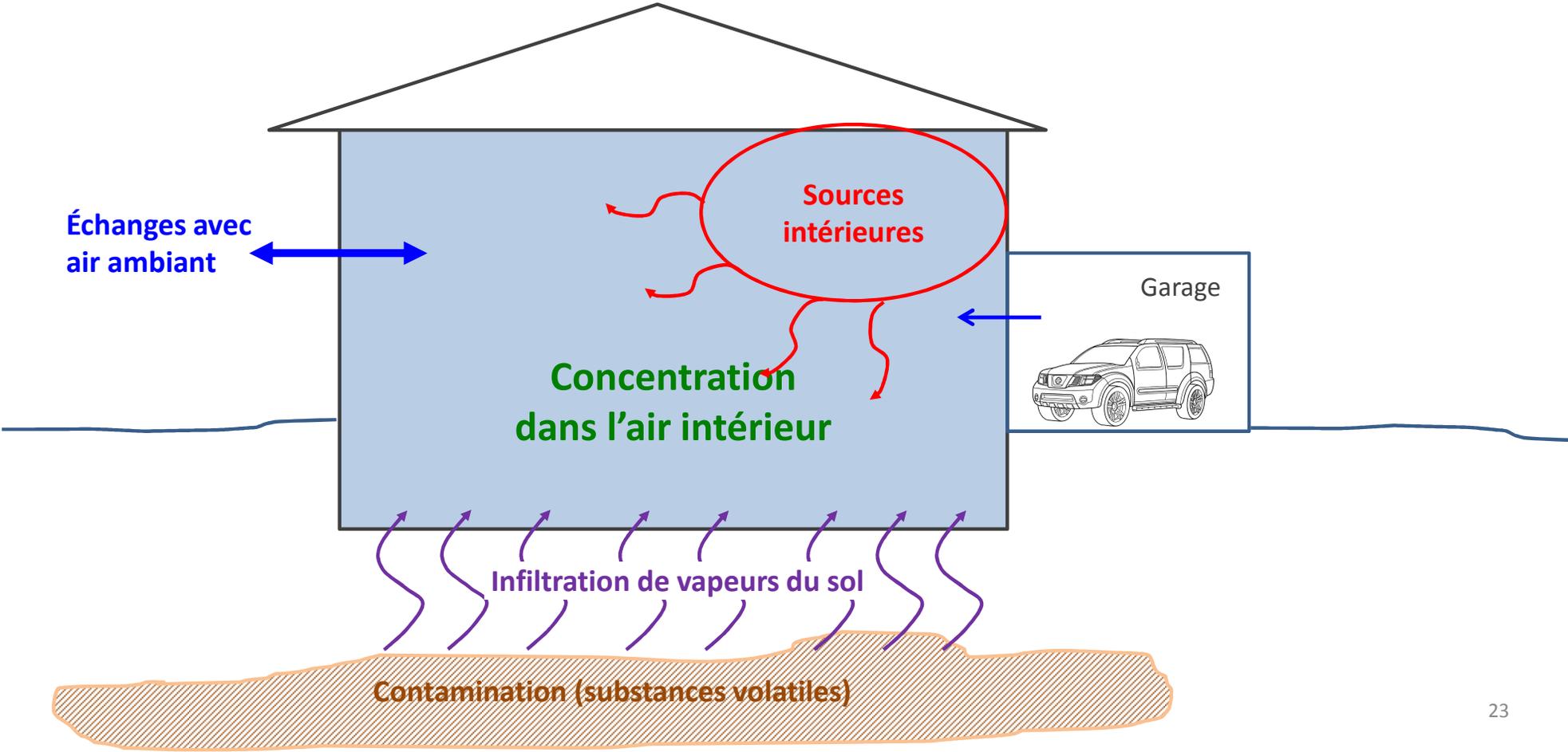
Sous-produits plus volatils et toxiques que PCE/TCE



Source: WHO. Vinyl chloride. Environmental Health Criteria 215

Qualité de l'air intérieur

De multiples sources



Qualité de l'air intérieur

Principales sources intérieures de COV

Source	Contaminants organiques volatils
Peinture au latex	Benzène, toluène, TMB
Peinture alkyle	PCE, CB
Tapis	Benzène, toluène, styrène, TMB, CB, décane
Combustion du bois	Toluène, xylènes, styrène, TMB, naphtalène
Panneaux en mousse	CB
Décapants	Toluène
Produits aérosols	Xylènes
Rubans adhésifs	Toluène, Styrène, TCE, décane
Désodorisants	CB
Fumée du tabac	Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes, styrène
Essence	Benzène, toluène, xylènes, styrène, TMB
Solvants	Toluène, éthylbenzène, trichloroéthanes
Nettoyage à sec	PCE

En rouge,
sources
de COV
chlorés

Nota :

Adapté de Hers *et al.* (2001)

TMB : Triméthylbenzène; TCE : Trichloroéthylène; PCE: Tétrachloroéthylène; CB: Chlorobenzène

Source: CCME (2016)

Infiltration de vapeurs

Variabilité (élevée) des concentrations dans l'air intérieur

Maison située au dessus d'un panache d'eau souterraine contaminée (TCE: 10-50 $\mu\text{g}/\text{L}$)

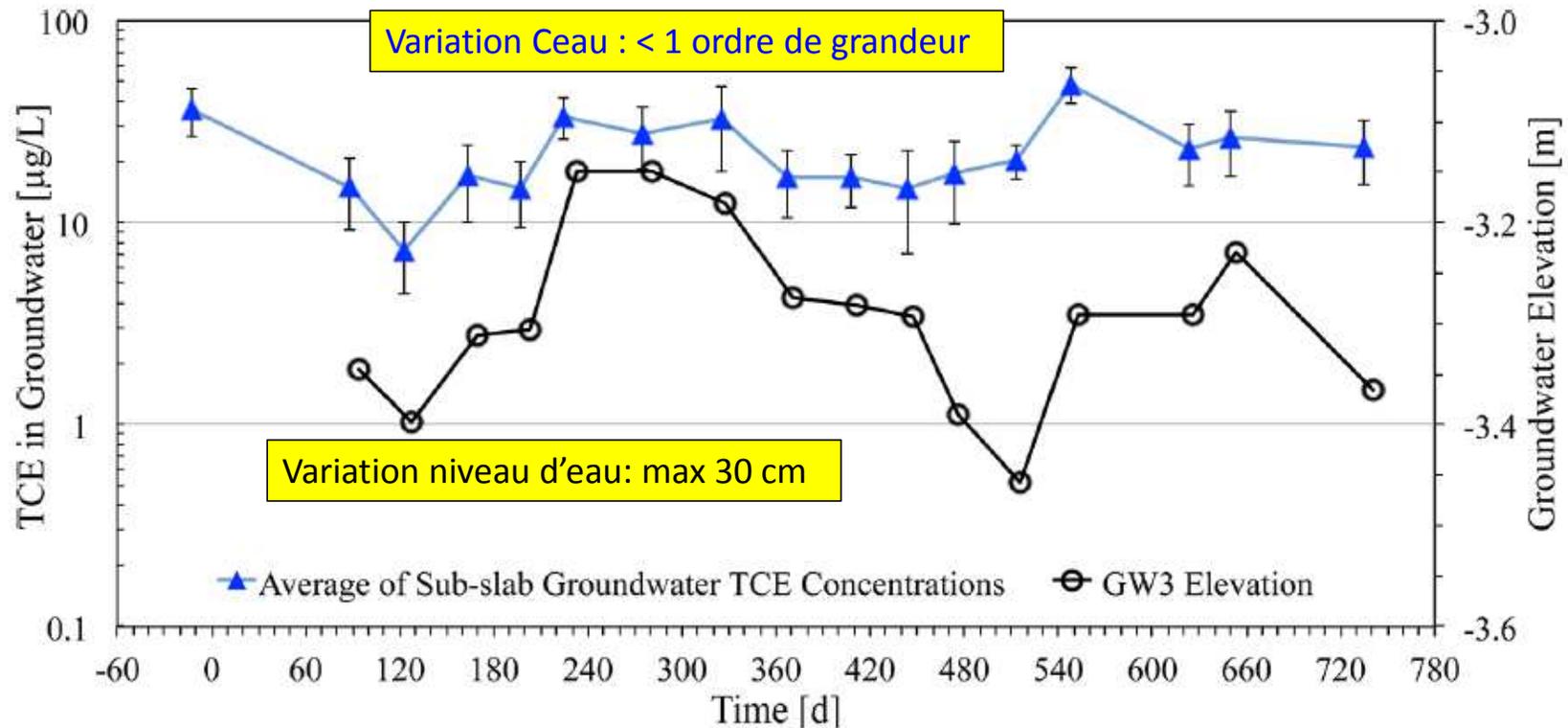
Maison achetée et utilisée pour suivi durant 2,5 ans de concentrations dans l'air intérieur et concentration dans l'eau souterraine



Holton et coll. (2013). Temporal variability of indoor air concentrations under natural conditions in a house overlying a dilute chlorinated solvent groundwater plume. Environ. Sci. Technol. 47:13347-13354.

Infiltration de vapeurs

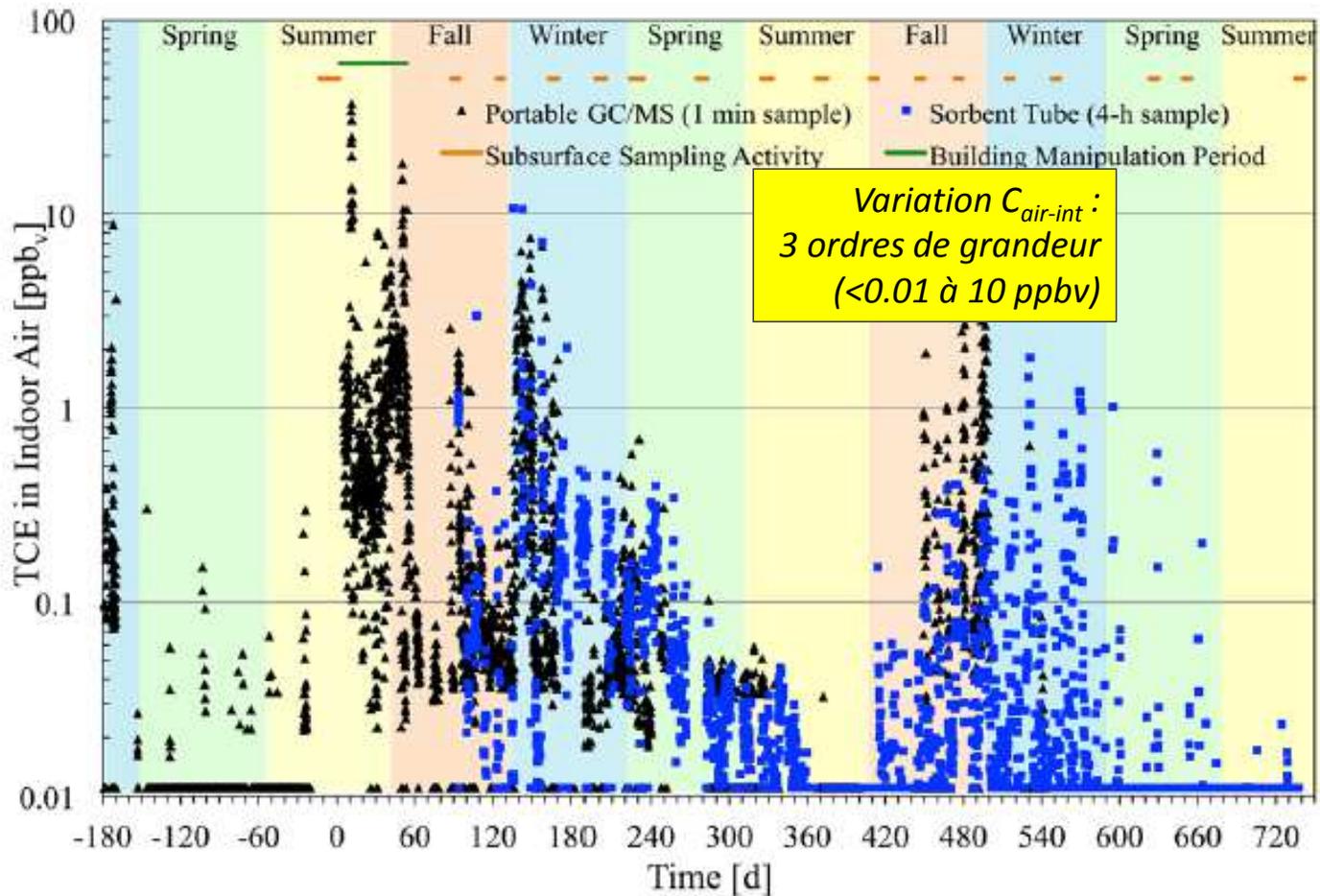
Variabilité (faible) des concentrations dans l'eau



Concentrations moyennes de **TCE dans l'eau** (divers puits sous les fondations)
et niveau d'élévation à des puits (GW3) – valeurs mensuelles

Infiltration de vapeurs

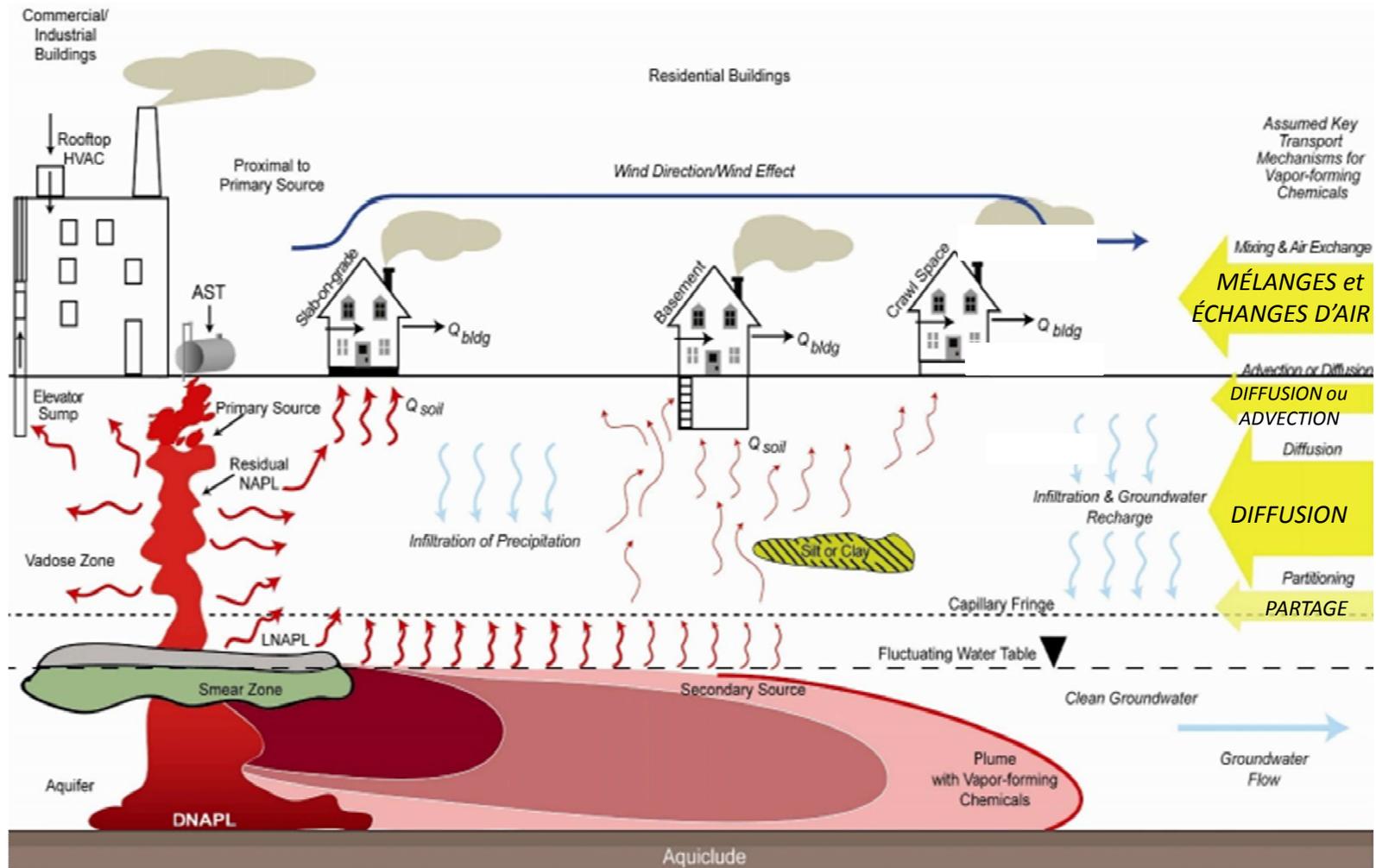
Variabilité (élevée) des concentrations dans l'air intérieur



Concentrations de TCE mesurées dans la maison

À noter: échelle logarithmique

Éléments clé
d'un modèle
conceptuel pour
l'infiltration de
vapeurs

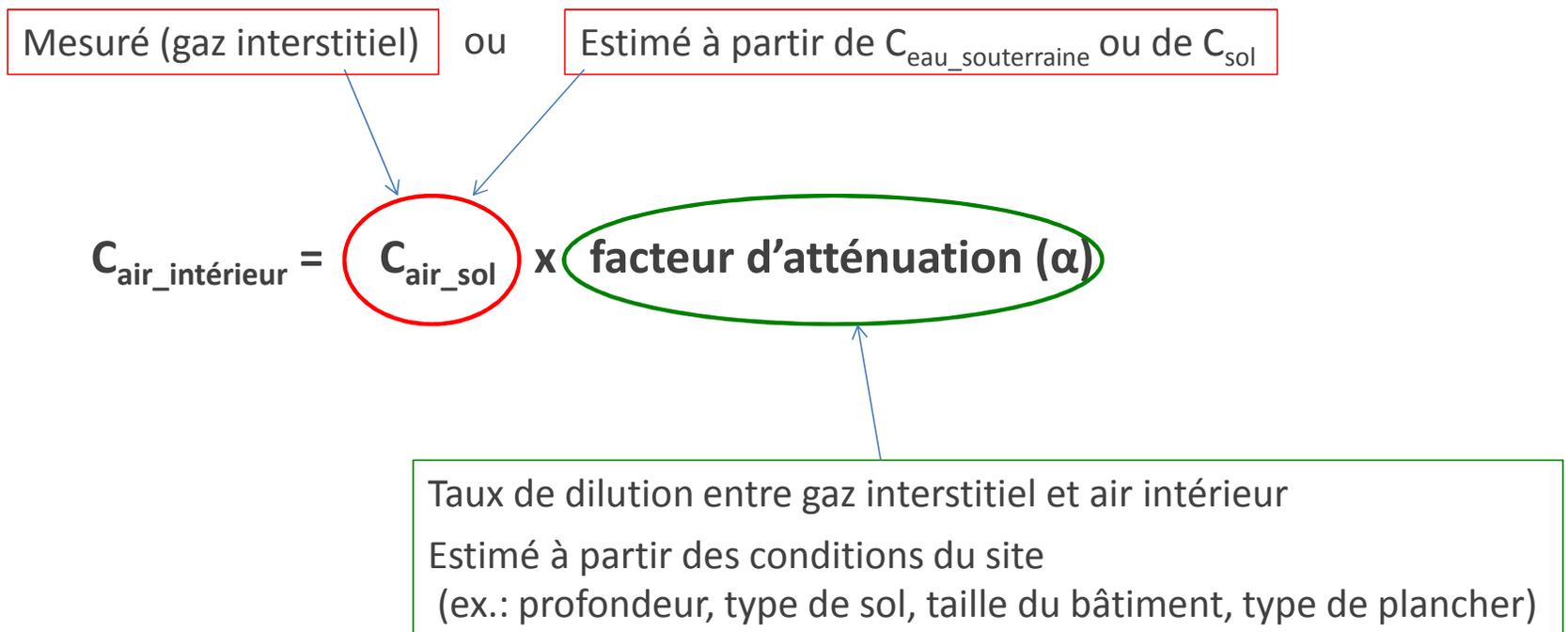


Q_{soil} : taux d'advection du gaz souterrain vers le bâtiment; Q_{bldg} : taux de renouvellement d'air du bâtiment

Source: U.S. EPA 2015 (OSWER Technical Guide)

Facteur d'atténuation α

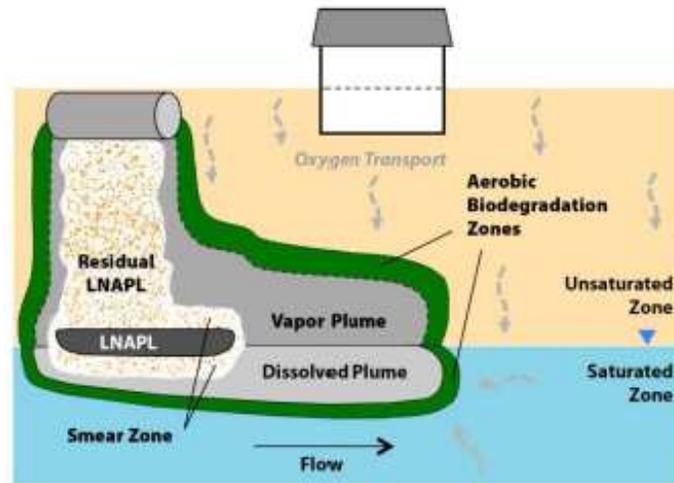
Modèle de Johnson & Ettinger (1991)



Facteur d'atténuation α

Phénomènes/paramètres affectant le potentiel d'infiltration

Atténuation selon nature des substances (hydrocarbures vs. solvants chlorés)

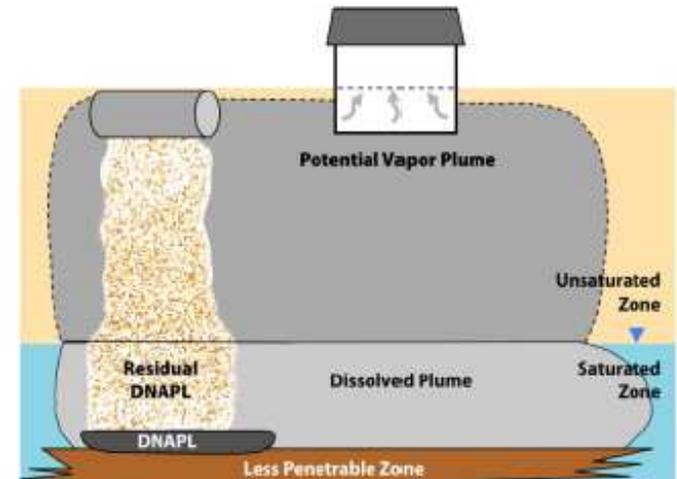


Hydrocarbures

Étalement de la contamination en sous-surface limitée par **biodégradation aérobie** au périmètre des panaches de vapeur/phase dissoute;

Maintien des conditions aérobies par transport efficace d'oxygène dans la zone de biodégradation;

Formation de **phase libre non aqueuse légère (LNAPL)** dans la zone capillaire (à cheval sur zones saturées et insaturées).



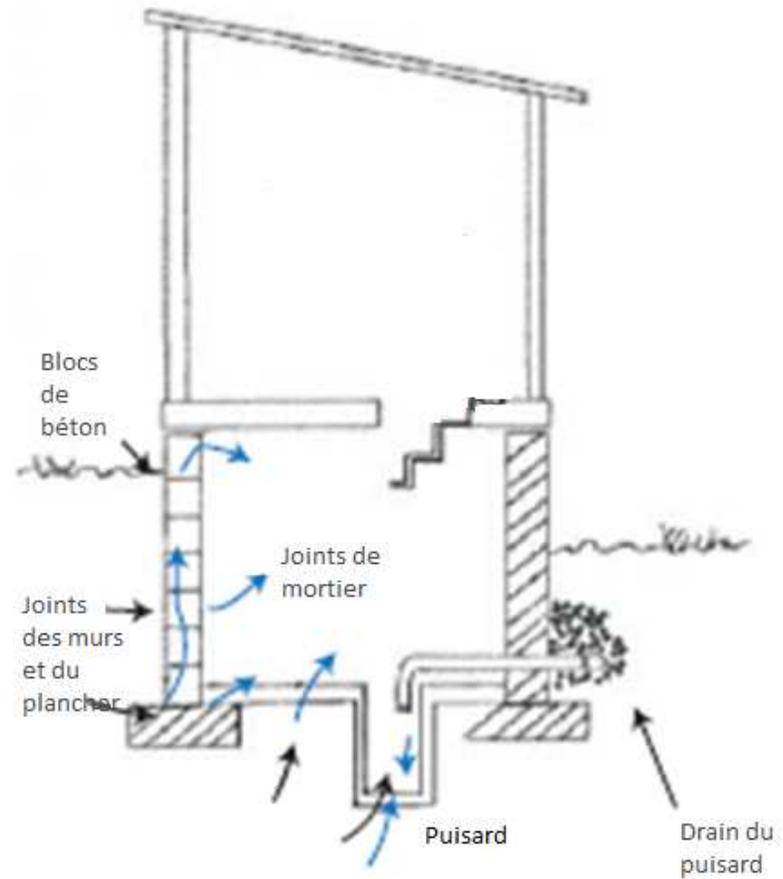
Solvants chlorés

Migration étendue des panaches de vapeur/phase dissoute due à la **dégradation anaérobie** des solvants chlorés (**plus lente** que dégradation des HC);

Migration possible sous forme de **phase libre non aqueuse dense (DNAPL)**, laquelle peut couler et rester sur une zone moins perméable (tel qu'illustré) ou pénétrer plus en profondeur (ex.: roc fracturé).

Paramètres affectant le potentiel d'infiltration Caractéristiques du bâtiment

Ex.: bâtiment avec sous-sol et dalle en béton

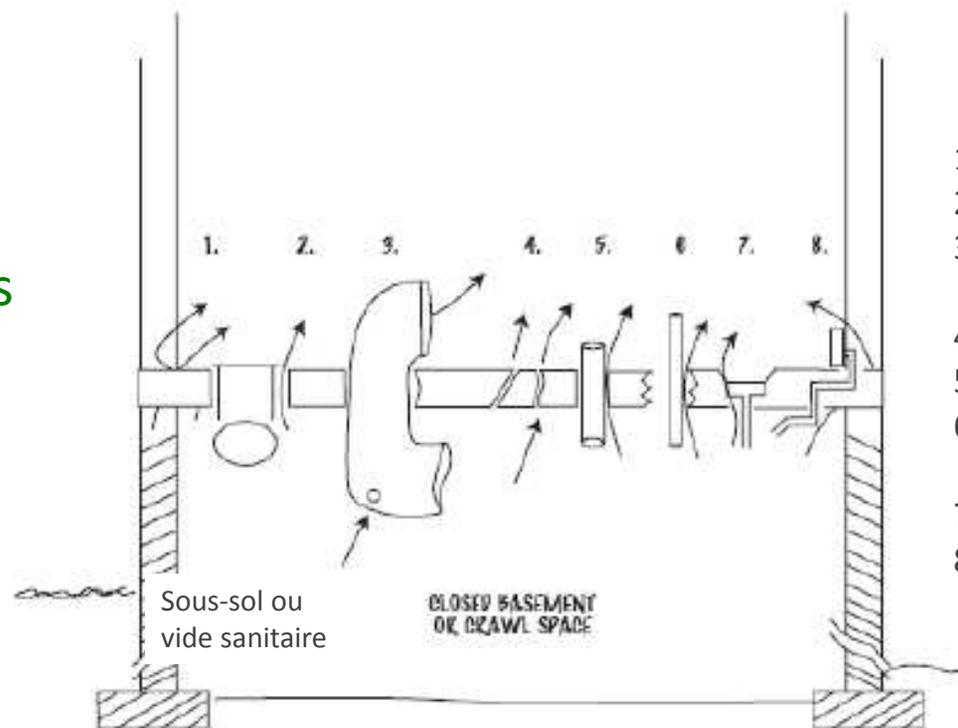


Source: adapté de U.S. EPA (2012)

Paramètres affectant le potentiel d'infiltration

Caractéristiques du bâtiment

Infiltration via les ouvertures présentes dans les murs et le plancher



1. Ouverture structurelle
2. Fentes chauffage/ventilation/air conditionné
3. Tuyau retour (avec trou) de chauffage/ventilation/air conditionné
4. Joints et fissures
5. Tuyaux d'égout (toilettes)
6. Tuyau d'eaux usées (ex. pour drains de bain/douche)
7. Drain ou pompe
8. Lignes électriques, téléphonie ou fibre optique

- Comparaison avec les critères recommandés par le MELCC
- Analyse de risques toxicologiques et écotoxicologiques
- Mise en place de détecteurs et suivi
- Évaluation de scénarios de mitigation, de réhabilitation, de changement d'usage

Méthodes les plus souvent utilisés

- Élimination des contaminants à la source (excavation, pompage ou drainage, traitement *in situ*)
- Imperméabilisation des surfaces
- Ventilation (systèmes passifs et actifs)
- Modification de l'utilisation des lieux

Exemples de cas Ancienne usine de chlor alkali et de solvants chlorés

Une douzaine de COV
présents dans les sols et
dans l'eau; quantité
importante de phase
libre dense

PCE, TCE, PeCA, CS₂, CB,
etc.

Quartier résidentiel et
hopital à proximité



Exemples de cas

Ancienne usine de chlor alkali et de solvants chlorés

Modélisation pour intrusion de vapeur;
imperméabilisation de la surface; suivi de l'air
interstitiel sous le bâtiment



Exemple de cas

Terrain: Site de disposition de déblais

Lieu : Pointe Sud de l'Île des Soeurs

Enjeu : Réhabilitation avec composante d'analyse de risques et contrôle des biogaz



SANEXEN

Exemple de cas

Lieu : Pointe Sud de l'Île des Soeurs

Un enjeu : Gestion des biogaz

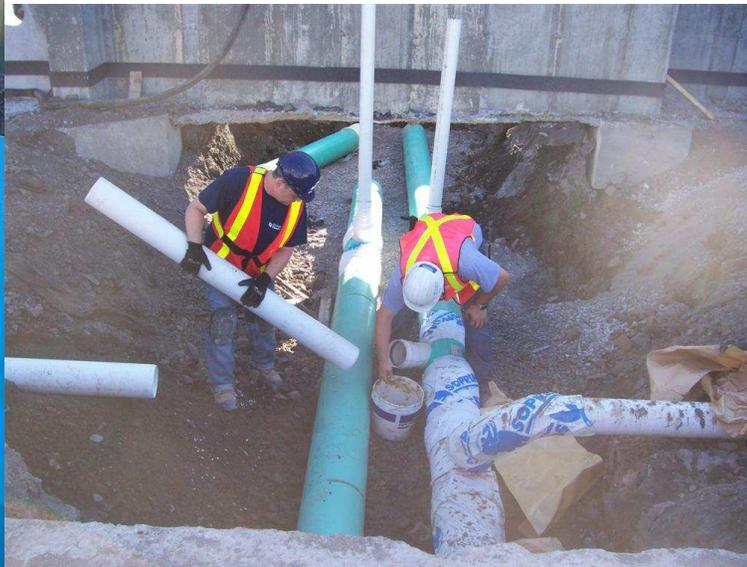
Cartographie des biogaz, systèmes de captage passif, fondations conçues et étanchéifiées sur mesure



Exemple de cas

Lieu : Pointe Sud de l'Île des Soeurs

Un enjeu : Gestion des biogaz



Exemples de cas Terrain d'une ancienne usine EDC-VCM

Usine de
solvants chlorés
(DCE et CV)
manufacturés
pour fabriquer
du PVC



Exemples de cas Site d'enfouissement et de remblayage

Interception et
traitement des
eaux souterraines
à un ancien site
d'enfouissement

Emprise du pont
Champlain

Biogaz et
ammoniac



Colloque annuel de l'AQVE

Montréal, 25 avril 2019

CONTAMINANTS DANS L'AIR INTERSTITIEL DU SOL ET DU ROC
Genèse, détection, échantillonnage et mesures correctives



Remerciements – Infiltration de vapeurs

Marie-Odile Fouchécourt, Ph.D., Toxicologue

Daniel Bouchard, Ph.D., Hydrogéologue

SANEXEN
SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC.

MF

Diapositive 42

MF1 vérifier pour titre de daniel
Marie-Odile Fouchécourt; 2019-04-23

Colloque annuel de l'AQVE

Montréal, 25 avril 2019

CONTAMINANTS DANS L'AIR INTERSTITIEL DU SOL ET DU ROC
Genèse, détection, échantillonnage et mesures correctives



QUESTIONS?

SANEXEN
SERVICES ENVIRONNEMENTAUX INC.