

La migration des contaminants organiques volatils chlorés d'un terrain vers l'air intérieur d'un bâtiment

Version du 22 avril 2020

Contexte

La migration de contaminants volatils chlorés à partir de sources de contamination dans le sol ou dans l'eau souterraine, via l'air interstitiel du sol, vers l'intérieur des bâtiments, et le risque qui en découle, constitue une problématique sur laquelle le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) s'est penché au cours des dernières années. La présente fiche précise les éléments à considérer pour évaluer la situation et orienter la gestion des terrains aux prises avec ce type de contamination.

Problématique

À l'heure actuelle, la contamination par des contaminants organiques volatils (COV) chlorés est souvent causée par des activités industrielles impliquant l'utilisation de solvants (p. ex., la fabrication de peinture, de vernis ou de colle). Certaines activités commerciales, notamment le nettoyage à sec, utilisent des solvants chlorés, comme le tétrachloroéthylène (PCE), qui peuvent se retrouver dans l'environnement (sol ou eau souterraine) à la suite de ces activités. Le PCE est un contaminant toxique cancérigène dont les produits de dégradation, le trichloroéthylène (TCE), le dichloroéthylène (DCE; trans- et cis-) et le chlorure de vinyle, sont également toxiques et, pour certains, cancérigènes. Actuellement, l'industrie québécoise du nettoyage à sec n'est pas visée par le [Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains](#) (chapitre Q-2, r. 37; RPRT). Caractérisés par une forte densité, les solvants chlorés ont tendance à migrer verticalement dans les sols, ce qui fait craindre un risque de contamination de l'eau souterraine. L'une des caractéristiques de ces contaminants chlorés est le fait qu'ils sont volatils et qu'une fois dans le sol et l'eau souterraine, ils peuvent migrer sous forme de gaz (vapeur) dans l'air interstitiel du sol vers la surface ou dans l'air intérieur des bâtiments. Les solvants chlorés sont relativement peu biodégradables et leurs métabolites sont parfois plus toxiques et plus mobiles que les molécules d'origine.

Ces COV chlorés, sous forme de vapeur, peuvent donc s'infiltrer dans les bâtiments, notamment par des fractures dans la dalle de ces derniers, par des fractures dans les murs de fondation, par des drains de plancher mal scellés ou par des interstices à la jonction entre les murs de fondation et le plancher. Conséquemment, les occupants des bâtiments localisés sur des terrains aux prises avec une contamination par les COV chlorés issus des sols ou des eaux souterraines sont potentiellement exposés à ces contaminants et leur santé peut en être affectée. Notons qu'il est prévu que les nettoyeurs à sec soient ajoutés à la liste d'activités visées dans le RPRT (annexes III et IV)

dans le cadre de la révision des règlements relatifs aux terrains contaminés.

La migration des COV chlorés des gaz interstitiels du sol vers l'intérieur des bâtiments et le risque qui en découle constituent une problématique sur laquelle le MELCC s'est penché au cours des dernières années.

Aux États-Unis, la problématique est également documentée, notamment dans des publications de la [United States Environmental Protection Agency \(USEPA\)](#) et des États de la [Californie](#) et du [New Jersey](#).

Au Canada, [Santé Canada](#) et le gouvernement de l'[Ontario](#), notamment, ont publié de la documentation technique sur la migration des COV chlorés d'un terrain vers des bâtiments.

Au Québec, la migration des COV chlorés d'un terrain vers des bâtiments avait été peu examinée jusqu'à récemment. Les cas de contamination par des COV chlorés traités par la Direction du Programme de réduction des rejets industriels et des lieux contaminés (DPRILC) s'inscrivent dans le cadre de dossiers évalués par le Groupe technique d'évaluation (GTE) pour lesquels le MELCC doit approuver un plan de réhabilitation. Les valeurs limites réglementaires applicables aux COV chlorés dans les sols (annexes I et II du RPRT) ne tiennent pas compte de cette voie d'exposition, car la problématique de l'intrusion de vapeurs de COV chlorés dans l'air intérieur des bâtiments était peu connue lorsque ces critères ont été élaborés. Par conséquent, même si les normes du RPRT sont respectées, l'exposition des habitants à des COV chlorés dans un terrain, et le risque pour la santé qui peut en découler, peuvent être sous-estimés. Une caractérisation de la qualité de l'air interstitiel du sol et, le cas échéant, la mise en œuvre de mesures de mitigation appropriées, ont donc été demandées et appliquées dans les dossiers du GTE impliquant des COV chlorés. Notons que, conformément aux lignes de conduite du GTE, les sols contaminés par les COV (y compris les COV chlorés) ne peuvent être maintenus dans un terrain en concentrations supérieures

aux valeurs limites applicables, et donc ne peuvent faire l'objet d'une réhabilitation par analyse de risque. Ces sols doivent être excavés ou traités jusqu'à l'atteinte des normes applicables.

Cette fiche technique présente l'approche actuellement retenue pour l'échantillonnage et l'interprétation des données lorsqu'une contamination par les COV chlorés est constatée dans un terrain. Elle s'applique autant pour les terrains supportant un ou des bâtiments que pour les terrains où il est prévu qu'on en construise.

Migration des COV chlorés persistants vers des bâtiments situés sur un terrain ou sur des terrains voisins

Selon Santé Canada, l'évaluation de l'exposition à des composés volatils chlorés se fait majoritairement à partir de la migration des contaminants présents dans l'eau souterraine ou dans l'air interstitiel des sols.

L'eau souterraine constitue évidemment une voie de migration pour les contaminants. Ainsi, des bâtiments déjà construits et potentiellement affectés peuvent être localisés sur un terrain contaminé, mais aussi sur des terrains voisins. Il conviendra donc de discuter avec les intervenants de la Direction de santé publique concernée de la communication du risque pour la santé des occupants des bâtiments dans lesquels s'infiltrent potentiellement des contaminants chlorés volatils.

Source de COV chlorés dans le sol

Dans le cas d'une source de COV chlorés affectant le sol, il est recommandé de mesurer directement les concentrations en COV chlorés dans l'air interstitiel du sol. Cet échantillonnage peut se faire au moyen d'une sonde à gaz. Une fois mise en place à la profondeur désirée, la sonde est reliée à un système d'échantillonnage, comme un Canister Summa™ ou un sac Tedlar™ (CCME, 2016). L'air est ensuite analysé pour déterminer son contenu en COV chlorés. Cette technique permet de mesurer une concentration dans l'air interstitiel du sol à un point donné, en microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), qui, après l'application d'un facteur d'atténuation, est comparée directement aux critères d'air intérieur (voir le tableau 1). Autrement, l'échantillonnage de l'air interstitiel du sol peut se faire par un puits d'observation d'eau souterraine dont la partie crépinée se poursuit dans la zone non saturée. Notons que l'échantillonnage de l'air interstitiel du sol peut être complété par un échantillonnage de l'air intérieur du bâtiment.

Source de COV chlorés dans l'eau souterraine

L'échantillonnage direct de l'air interstitiel du sol par la méthode décrite ci-dessus peut aussi être effectué si la source de COV chlorés est dans l'eau souterraine,

puisque'il s'agit d'un échantillon ponctuel prélevé à la profondeur désirée (dans la zone non saturée), indépendamment de la source de contamination.

Il est également possible, à partir d'une concentration en COV chlorés mesurée dans l'eau souterraine exprimée en milligrammes par litre (mg/L), de calculer une concentration attendue dans l'air interstitiel (voir Santé Canada, 2010) qui sera comparée au critère d'air intérieur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir le tableau 1). Notons que Santé Canada (2010) ne recommande pas de faire un calcul similaire à partir d'une source de contamination dans les sols exprimée en milligrammes par kilogramme (mg/kg).

Dans le cas de l'eau souterraine, une autre option est possible : l'[Ontario](#) (Ontario Ministry of the Environment, 2011) a développé un critère de qualité de l'eau souterraine qui tient compte de la voie d'exposition par migration de vapeur vers l'air intérieur des bâtiments (critère GW2). Il est donc acceptable de comparer directement les concentrations en COV chlorés mesurées dans l'eau souterraine (en mg/L) aux critères GW2 ontariens.

Notons que, dans le cas où les concentrations dans l'eau souterraine dépassent le critère GW2 ontarien, ou que les concentrations dans l'air interstitiel sont estimées par l'approche de Santé Canada, le MELCC recommande de confirmer la problématique par l'échantillonnage et l'analyse de l'air interstitiel.

Critères applicables et facteur d'atténuation

Les critères et valeurs limites réglementaires ne tenant pas compte de la voie d'exposition de vapeurs de COV chlorés dans l'air intérieur des bâtiments, le sol ou l'eau souterraine d'un terrain peuvent respecter les critères applicables, mais représenter quand même un risque pour la santé des occupants, qui sont susceptibles d'inhaler les vapeurs de COV chlorés.

Pour estimer si les risques d'exposition des occupants d'un bâtiment sur un terrain contaminé par des COV chlorés sont acceptables, une modélisation du passage de ces contaminants de l'eau souterraine vers l'air intérieur, ou de l'air interstitiel des sols vers l'air intérieur, devrait être réalisée. Toutefois, le *Guide d'orientation pour l'évaluation de l'intrusion de vapeurs du sol pour les sites contaminés* de Santé Canada (2010) présente des facteurs d'atténuation (FA) pouvant être utilisés à la place d'un outil de modélisation. L'application des FA est préconisée par le MELCC, cette méthode étant plus simple qu'une modélisation.

En effet, lors du transport des contaminants dans l'air interstitiel du sol entre la source de COV chlorés et le récepteur (c'est-à-dire un bâtiment), une certaine atténuation des concentrations des contaminants en

phase vapeur se produit, notamment à cause de la dilution dans l'air interstitiel et de la dispersion des contaminants dans le sol. Cette atténuation correspond à un FA défini comme le rapport entre la concentration de vapeur dans l'air intérieur du bâtiment et la concentration de vapeur dans l'air interstitiel du sol. Le FA doit donc être appliqué aux concentrations d'air interstitiel mesurées dans le sol. Ce FA dépend principalement de la granulométrie des sols et de la distance verticale (profondeur) entre la source et le récepteur.

De façon générale, deux types de FA peuvent s'appliquer : des FA génériques ou spécifiques. Un FA générique s'applique pour des concentrations mesurées à moins de 1 mètre de profondeur sous la dalle d'un bâtiment et des FA spécifiques s'appliquent pour des profondeurs supérieures à 1 mètre (selon la profondeur de mesure).

Les FA génériques (ou « par défaut ») recommandés sont ceux du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), qui correspondent à 0,01 pour un bâtiment commercial/industriel et à 0,03 pour un bâtiment résidentiel (CCME, 2014; 2015).

Pour déterminer les FA spécifiques, le modèle de Johnson et Ettinger (J&E; 1991) est le plus souvent utilisé¹. Des graphiques illustrant des courbes de FA déterminés à l'aide du modèle J&E applicables en fonction de la granulométrie du sol (sable, sable limoneux, limon sableux et limon), et selon la distance entre la source et le récepteur, sont présentées aux figures 7.2 à 7.5 du guide de Santé Canada (2010). Différents graphiques sont présentés en fonction de l'usage des terrains (résidentiel ou commercial) et selon que la source de contamination se trouve dans le sol ou dans l'eau souterraine. Notons que, dans le cas où la source de contamination est dans l'eau souterraine, le calcul du FA tient compte du transport des COV chlorés à la fois à travers la frange capillaire et à travers la zone non saturée, alors que, si la source est dans le sol, seul le transport à travers la zone non saturée est considéré. Il est recommandé d'utiliser ces graphiques.

Une fois le FA adéquat déterminé, ce dernier est appliqué à la concentration de l'air interstitiel du sol mesurée, et la concentration obtenue correspond à l'estimation de la concentration en COV chlorés dans l'air intérieur du bâtiment. La concentration de l'air intérieur est ensuite comparée aux critères d'air intérieur présentés au tableau

1, pour estimer le risque auquel sont exposés les utilisateurs du bâtiment.

Le tableau 1 montre les critères de qualité d'air intérieur provisoires applicables au PCE, au TCE, aux DCE et au chlorure de vinyle en milieu résidentiel et en milieu commercial/industriel. Les durées d'exposition suivantes ont été prises en compte pour les deux milieux :

- Résidentiel : 24 heures/jour, 365 jours/an et 70 ans de vie;
- Commercial/industriel : 8 heures/jour, 240 jours/an et 45 ans de travail.

Hormis pour le cis 1,2-dichloroéthylène (DCE) et le trans-DCE, pour lesquels les critères commerciaux/industriels de l'Ontario (2016) sont spécifiés, les critères applicables aux terrains à usage commercial/industriel sont basés sur les valeurs résidentielles. Ils ont été obtenus en multipliant les valeurs résidentielles par un facteur de 7,1. Ce facteur correspond au rapport entre la durée d'exposition en milieu résidentiel et celle en milieu commercial/industriel ($24/8 \times 365/240 \times 70/45 = 7,1$).

Dans le cas d'une concentration mesurée dans l'eau souterraine (en mg/L), un calcul doit être effectué à l'aide d'équations de répartition pour convertir la valeur en concentration dans l'air interstitiel du sol (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). À cet effet, on doit consulter le tableau complémentaire 2 du guide de Santé Canada (2010). Le FA adéquat est ensuite appliqué et la valeur obtenue est comparée aux recommandations du tableau 1. Comme il a été mentionné ci-dessus, les concentrations dans l'eau souterraine (en mg/L) peuvent également être comparées directement aux critères d'eau souterraine GW2 de l'Ontario, qui tiennent compte des FA. Notons que les critères GW2 ne peuvent s'appliquer que si la distance de séparation verticale entre l'eau souterraine et la dalle du bâtiment est supérieure à 1 mètre. En effet, le FA considéré dans les critères GW2 est déterminé à l'aide du modèle J&E, qui s'applique uniquement si la distance de séparation verticale entre la nappe et le bâtiment est supérieure à 1 mètre. Ceci est dû à l'incertitude liée aux fluctuations annuelles du niveau de la nappe, lesquelles modifient cette distance de séparation. Il est à noter que le tableau 2 montre deux types de critères GW2 : ceux applicables lorsque la nappe est située à une profondeur de 3 mètres ou plus par rapport au bâtiment (à gauche), et ceux applicables lorsque la nappe est à faible profondeur (entre 0 et 3 mètres).

Par ailleurs, le CCME a publié un [protocole d'élaboration de critères de qualité pour les contaminants volatils dans les sols](#) (CCME, 2014) et un [protocole d'élaboration de critères pour les contaminants volatils dans l'eau souterraine](#) (CCME, 2015). Pour le moment, bien que les protocoles aient été publiés, la liste des critères (sol et eau) n'a pas encore été élaborée.

¹ Ce modèle tient compte du transport des COV du sol par advection et par diffusion. Il est basé sur certaines hypothèses, notamment celles voulant que les contaminants sont répartis de façon homogène dans la source de contamination, que les vapeurs du sol diffusent uniquement vers le haut à travers une couche de sol homogène et isotrope jusqu'à la base des fondations d'un bâtiment, que des fissures permettent l'advection et la diffusion des COV et que ces processus sont stables (aucune absorption ou dissolution ne contribue à diminuer les concentrations; Santé Canada, 2010).

Interprétation des résultats

Lorsque des échantillons prélevés directement dans l'air interstitiel des sols sous un bâtiment montrent, après l'application du FA adéquat, que les critères d'air intérieur du tableau 1 sont dépassés, cela indique qu'il y a une problématique d'exposition potentielle par intrusion de vapeur associée à la présence de COV chlorés.

Comme il a été mentionné précédemment, une potentielle problématique d'intrusion de vapeur de COV chlorés dans un bâtiment devrait être confirmée par le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'air interstitiel du sol dans le cas où les critères GW2 ontariens sont dépassés dans l'eau souterraine, ou si les concentrations dans l'air intérieur ont été estimées selon l'approche de calcul de Santé Canada à partir de concentrations mesurées dans l'eau souterraine.

Lorsqu'une problématique liée à la présence de COV chlorés dans un terrain est mise en lumière, une intervention est requise.

Interventions et gestion du risque

L'identification d'un risque implique qu'on réduise l'exposition des occupants des bâtiments aux COV chlorés. Il peut s'agir de bâtiments existants ou à construire, et ils peuvent être situés sur le terrain à réhabiliter ou sur des terrains voisins.

Si la caractérisation de l'air interstitiel du sol montre un dépassement des critères d'air intérieur, une intervention devra être proposée. Celle-ci pourrait consister à excaver les sols contaminés par les COV chlorés de manière à retirer du terrain la source de contamination. Des mesures de mitigation pourraient également être mises en œuvre, comme l'étanchéisation de la dalle du bâtiment, ou l'interception des vapeurs sous la dalle du bâtiment de façon à les rediriger vers l'extérieur ou vers une unité de traitement. Les contaminants volatils chlorés peuvent être transportés par l'eau souterraine qui migre vers des terrains voisins. Lorsque le risque n'est pas jugé acceptable, cette eau doit être traitée pour réduire sa concentration en contaminants.

Une approche visant à élaborer un critère spécifique pourrait également être retenue. Dans ce cas, il s'agit de calculer à rebours la concentration dans le sol à ne pas dépasser pour respecter le critère d'air intérieur. Une intervention est requise si le critère spécifique calculé est dépassé.

Exemple de calcul

On mesure une concentration de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PCE dans un échantillon d'air interstitiel du sol prélevé à l'aide d'une sonde à gaz, à une profondeur de 2 mètres sous un bâtiment à vocation résidentielle. Le sol contaminé

correspond à du sable à grains grossiers. Comme la distance de séparation verticale entre le point de mesure et le bâtiment est > 1 mètre, on utilise les graphiques de Santé Canada conçus avec le modèle J&E pour déterminer le FA applicable. Le bâtiment étant résidentiel et la concentration ayant été mesurée dans l'air interstitiel du sol, on se réfère à la figure 7.3 du guide de [Santé Canada](#) (2010). Pour un sable et une profondeur de 2 mètres, on obtient un FA de 0,002. On multiplie donc la concentration de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par 0,002. On obtient ainsi une concentration de PCE dans l'air intérieur du bâtiment estimée de $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est inférieur au critère de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandé au tableau 1. Aucune intervention n'est donc requise.

Si, pour le même exemple, la mesure de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avait été prise à une profondeur de 0,9 mètre sous le bâtiment, le FA générique recommandé par le CCME pour une utilisation résidentielle de 0,03 aurait été utilisé. La concentration estimée de PCE dans l'air intérieur du bâtiment aurait été de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est supérieur au critère de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandé au tableau 1. Une intervention serait donc requise.

Références

Conseil canadien des ministres de l'environnement (2016). [Guide sur la caractérisation environnementale des sites dans le cadre de l'évaluation des risques pour l'environnement et la santé humaine](#) – Volume 1 : Orientations, 367 pages.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (2015). *Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des eaux souterraines pour utilisation sur les sites contaminés*, 58 pages.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (2014). *Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des vapeurs de sol en vue de prévenir leur inhalation par l'humain*, 53 pages.

Johnson, P.C., Ettinger, R.A. (1991). « Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings », *Environmental Science & Technology* (25), pages 1445-1452.

Ontario Ministry of the Environment and Climate Change (2016). [Modified generic risk assessment model \(spreadsheet version\)](#). Standards Development Branch.

Ontario Ministry of the Environment (2011). *Rationale for the development of soil and ground water standards for use in contaminated sites in Ontario*, Standards Development Branch, 404 pages + annexes.

Santé Canada (2010). *Évaluation du risque pour les sites contaminés fédéraux au Canada : partie VII : Guide d'orientation pour l'évaluation de l'intrusion de vapeurs du*

sol pour les sites contaminés, Division des sites contaminés, Direction de la sécurité des milieux, Ottawa, 143 pages.

United States Environmental Protection Agency (2000). [Vinyl chloride](#), CASRN 79-01-6, Integrated Risk Information System (IRIS), août 2000.

United States Environmental Protection Agency (2011). [Trichloroethylene](#), CASRN 79-01-6, Integrated Risk Information System (IRIS), septembre 2011.

United States Environmental Protection Agency (2012). [Tetrachloroethylene \(Perchloroethylene\)](#), CASRN 127-18-4, Integrated Risk Information System (IRIS), octobre 2012.

Figure 1. Schéma résumant l'approche à utiliser dans les dossiers de terrains contaminés par des COV chlorés, selon que la source de contamination se trouve dans le sol ou dans l'eau souterraine.

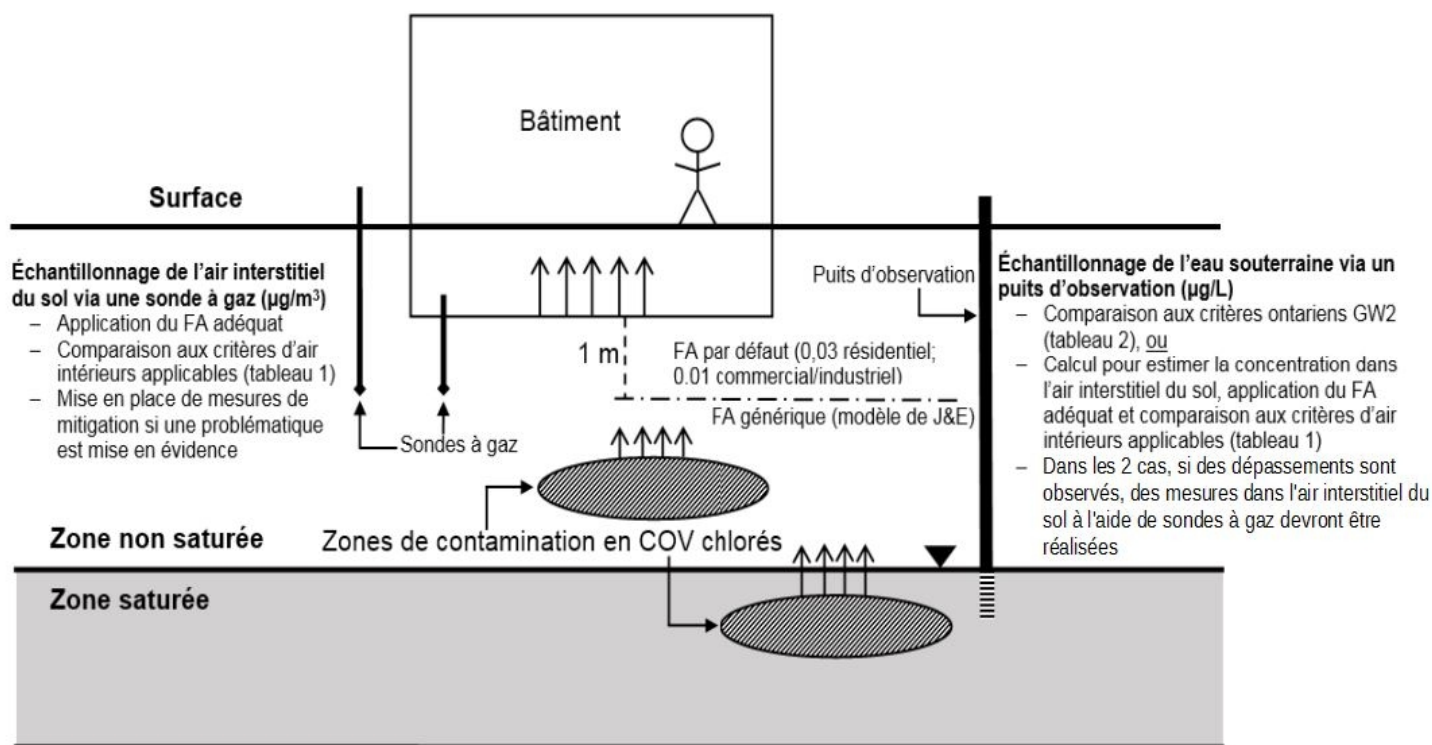


Tableau 1. Critères de qualité d'air intérieur provisoires applicables à certains COV chlorés

Substance	Effet	Critère d'air intérieur provisoire (µg/m³)		Origine
		Résidentiel	Commercial/industriel	
Tétrachloroéthylène (PCE)	C	4	28,4	USEPA (2012)
Trichloroéthylène (TCE)	C	0,2	1,4	USEPA (2011)
cis 1,2-dichloroéthylène (DCE)	NC	31,3	107	Ontario (2016)
trans 1,2-DCE	NC	12,5	42,9	Ontario (2016)
Chlorure de vinyle	C	0,23	1,6	USEPA (2000)

Note : Les critères présentés dans le tableau sont en cours d'évaluation. Ils sont donc qualifiés de « provisoires » à ce stade. Pour les substances cancérogènes, ces critères provisoires sont protecteurs d'un risque de cancer de 1×10^{-6} .

Abréviations : C : effet cancérogène; NC : effet non cancérogène; USEPA : United States Environmental Protection Agency.

Tableau 2. Concentrations maximales dans l'eau souterraine admises pour la voie d'exposition de vapeurs de COV chlorés dans l'air intérieur des bâtiments en Ontario (critères GW2; Ontario Ministry of the Environment, 2011)

Substance	Critère GW2 (µg/L)		Critère GW2 – Nappe entre 0 et 3 m de profondeur (µg/L)	
	Résidentiel	Commercial/industriel	Résidentiel	Commercial/industriel
Tétrachloroéthylène (PCE)	1,6	30	0,072	1,2
Trichloroéthylène (TCE)	1,6	30	0,072	1,2
cis 1,2-dichloroéthylène (DCE)	1,6	30	0,072	1,2
trans 1,2-DCE	1,6	30	0,072	1,2
Chlorure de vinyle	0,16	3	0,0072	0,12

Note : Les critères GW2 applicables au PCE, au TCE et aux DCE sont plafonnés à 10 fois le critère applicable au chlorure de vinyle.