



Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine

**TOLUÈNE
2004**

Ce feuillet d'information présente les recommandations canadiennes pour la qualité des sols concernant le toluène en vue de la protection de l'environnement et de la santé humaine (tableau 1). Un document scientifique d'appui est également disponible (Environnement Canada, 2004).

Information générale

Le toluène ($C_6H_5CH_3$; CAS 108-88-3) est un liquide limpide et incolore à la température de la pièce, qui dégage une odeur piquante et fétide (NIOSH, 1973). C'est un composé aromatique monocyclique ayant un groupe méthyle à la place d'un hydrogène sur l'anneau benzène. Le toluène est un liquide volatil ayant une pression de vapeur (28,4 mm de Hg à 25 °C) et une constante de la loi de Henry ($5,94 \times 10^{-3} \text{ atm}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mole}^{-1}$)

relativement élevées et qui est fortement inflammable et explosif. La solubilité du toluène dans l'eau douce est relativement faible ($347 \text{ à } 707 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à 25 °C), mais elle est suffisamment élevée pour soulever des préoccupations environnementales. Le toluène a un coefficient de partage octanol-eau plutôt faible ($\log K_{oc} 2,69$ à 25 °C) (Mackay et coll., 1992), ce qui indique une faible solubilité dans les graisses et, par conséquent, un faible potentiel de bioaccumulation (Environnement Canada, 2004).

Le toluène, l'éthylbenzène et les trois isomères du xylène (*ortho*, *méta* et *para*) font partie de la grande catégorie de produits organiques volatils des hydrocarbures monoaromatiques composés d'un anneau de benzène portant un ou plusieurs groupes alkyles. Ces composés, désignés collectivement sous le nom TEX, sont souvent étudiés ensemble en plus du benzène, puisqu'ils sont tous

Tableau 1. Recommandations pour la qualité des sols concernant le toluène ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)*

	Utilisation des terres et texture du sol							
	Agricole		Résidentielle/parc		Commerciale		Industrielle	
	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin
<u>Surface</u>								
Recommandation^a	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
RQS _{SH}	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
RQS _E	75	110	75	110	250	330	250	330
<u>Sous-sol</u>								
Recommandation^a	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
RQS _{SH}	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
RQS _E	150	220	150	220	500	660	500	660

Notes : RQS_E = recommandation pour la qualité des sols : environnement; RQS_{SH} = recommandation pour la qualité des sols : santé humaine.

* La formation en phase libre, un phénomène jugé inacceptable par beaucoup d'instances, se produit lorsqu'une substance dépasse sa limite de solubilité dans l'eau du sol. La concentration à laquelle ce phénomène se produit dépend d'un certain nombre de facteurs, dont la texture du sol, la porosité et la porosité non capillaire. D'après les hypothèses avancées pour cette recommandation, du toluène en phase libre se formera probablement à des concentrations supérieures à $660 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol grossier ou à $680 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol fin.

^a Les données sont suffisantes pour calculer une RQS_{SH} et une RQS_E. La recommandation pour la qualité des sols est donc la valeur la plus faible et représente une nouvelle recommandation entièrement intégrée pour cette utilisation des terres.

Les recommandations de ce feuillet d'information ne donnent qu'une orientation générale. Les conditions particulières à chaque lieu doivent être prises en considération dans l'utilisation de ces valeurs. Il se peut que l'utilisation de quelques valeurs du tableau 1 ne soit pas permise de façon générique par certaines autorités. Par exemple, l'utilisation de valeurs pour le sous-sol peut occasionner des restrictions concernant l'utilisation des terres. Les recommandations peuvent être utilisées différemment selon les autorités concernées. Le lecteur est prié de consulter l'autorité compétente avant d'appliquer ces valeurs.

présents dans l'essence et constituent plus de 60 % de la fraction soluble dans l'eau (Barbaro et coll., 1992).

Les TEX sont des produits ou des sous-produits du raffinage de pétrole et de charbon. Le toluène et le xylène sont produits sous forme de mélange de composés aromatiques avec le benzène, principalement à partir du reformat catalytique dans les raffineries, et en second lieu comme sous-produits de la fabrication d'oléfines pendant le craquage des hydrocarbures. L'éthylbenzène est surtout produit par l'alkylation du benzène avec l'éthylène.

Les TEX sont largement utilisés comme solvants dans les peintures, les laques, les adhésifs, les encres et les agents nettoyants et dégraissants, ainsi que dans la production de teintures, de parfums, de plastiques, de produits pharmaceutiques et de pesticides. Les TEX constituent aussi une fraction importante du pétrole brut. Les fractions typiques de toluène dans les essences utilisées en Ontario sont de 6,7 % dans le sans plomb régulier et de 11,3 % dans le super sans plomb (MEEQ, 1993b).

L'introduction de TEX dans l'atmosphère est due en grande partie à une combustion incomplète des carburants de pétrole par les véhicules motorisés, et à la volatilisation de solvants et de diluants à base de TEX. Les sources naturelles de TEX comprennent les gaz volcaniques, les feux de forêt et la végétation (Isidorov et coll., 1990).

Les TEX rejetés dans le sol et dans l'eau proviennent surtout de fuites dans les réservoirs souterrains de pétrole et dans les sites d'enfouissement, d'accidents et de déversements pendant le transport, de l'épandage de pesticides et du rejet de déchets industriels et municipaux (Johnson et coll., 1989; Lesage et coll., 1990, 1991; SIAMD, 1992).

Les concentrations de TEX dans l'air ambiant varient considérablement selon la source et la saison d'échantillonnage. On a mesuré des concentrations de toluène s'étalant de $1,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en zones rurales (Dann et coll., 1989) à $2\,600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ près de postes d'essence, en été (PACE 1987, 1989).

Dans l'eau, les concentrations mesurées de toluène varient de $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (NAQUADAT, 1992) à $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ dans les Grands Lacs (Oton, 1987). Lesage et coll. (1990) ont mesuré une concentration de $3\,900 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de toluène dans un aquifère peu profond près d'un site d'enfouissement de déchets chimiques à Elmira, en Ontario.

Les données sur les concentrations de toluène dans les sols et les sédiments de l'environnement canadien sont rares. Le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de

l'Ontario rapporte des valeurs de 1,3 et $0,92 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ comme 98^e centile des concentrations de toluène dans les sols de parcs ruraux et de vieux parcs urbains, n'ayant pas été affectés par des sources locales ponctuelles de pollution (OMEE, 1993).

Devenir dans l'environnement et comportement dans le sol

Les principaux processus qui gouvernent le comportement des TEX dans l'environnement terrestre sont la volatilisation, la sorption, la biodégradation et le lessivage. Les composés TEX n'ont pas de groupes hydrolysables, par conséquent, l'hydrolyse n'est pas une voie importante de transformation. De façon semblable, les TEX ne sont pas dégradés directement par photolyse (Howard, 1990; Mackay et coll., 1992). Cependant, ils sont dégradés dans l'atmosphère en réagissant avec des radicaux hydroxyles produits par photochimie, ce qui leur confère une demi-vie de 3 h à 1 j.

La volatilisation est le processus dominant qui détermine le devenir des TEX dans l'environnement terrestre (Parker et Jenkins, 1986; Jin et O'Connor, 1990; Anderson et coll. 1991). La volatilisation dépend de la température, de l'humidité, de la sorption et des processus de biodégradation dans les sols (Aurelius et Brown, 1987; Ashworth, 1988). Les pressions de vapeur et les constantes de la loi de Henry relativement élevées ($>10^{-3} \text{atm}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mole}^{-1}$) des TEX les rendent susceptibles à une volatilisation rapide à partir des sols; les demi-vies s'étalent de 2,2 à 28 j (Howard, 1990; Anderson et coll., 1991).

L'adsorption réduit la mobilité des TEX dans les sols et affecte leur taux de biotransformation. La matière organique des sols, notamment les acides humiques, adsorbe fortement les TEX (El-Dib et coll., 1978; Schwarzenbach et Westall, 1981; Jury et coll., 1987; Jin et O'Connor, 1990). Les TEX sont aussi adsorbés aux minéraux argileux comme la bentonite, l'illite et la kaolinite. L'adsorption dans le sol augmente avec l'augmentation de la concentration des TEX, la diminution du pH et la diminution de la teneur en eau (El-Dib et coll., 1978; Chiou et coll., 1981; English et Loehr, 1991; Rutherford et Chiou, 1992). La sorption est faible dans les sols à texture légère ayant une faible teneur en matières organiques (Garbarini et Lion, 1986; English et Loehr, 1991).

Divers micro-organismes du sol peuvent utiliser les TEX comme source de carbone, et les décomposer en CO_2 et en eau. Les espèces de *Pseudomonas* sont les principales bactéries responsables de la dégradation des TEX dans les sols, mais il a été rapporté que d'autres espèces, tel que

Arthrobacter, peuvent aussi dégrader les composés TEX (Utkin et coll., 1992). Les demi-vies de dégradation varient habituellement entre 5 et 10 j et sont typiquement <20 j (Grbic-Galic et Vogel, 1987; Chiang et coll., 1989; Evans et coll., 1991a, 1991b; Haag et coll., 1991; Mackay et coll., 1992). La dégradation peut s'effectuer aussi bien en milieu aérobie qu'anaérobie. En milieu aérobie, la quantité d'oxygène dans le sol est le principal facteur de contrôle (Chiang et coll., 1989; Barker et coll., 1989; Allen, 1991). La disponibilité de nutriments, surtout de l'azote, affecte aussi le taux de dégradation. Ce taux est plus élevé dans les horizons supérieurs du sol et dans les zones insaturées, en raison d'une plus grande disponibilité d'oxygène (Kampbell et coll., 1987; Miller et coll., 1990; Haag et coll., 1991; Edwards et coll., 1992). La dégradation anaérobie est beaucoup plus lente et peut être accélérée par l'ajout de nitrates et de sulfates dans le sol (Evans et coll., 1991a, 1991b; Hutchins, 1991; Beller et coll., 1992; Edwards et coll., 1992).

Les TEX sont modérément solubles dans l'eau et peuvent donc se déplacer avec l'eau de percolation, soit en solution ou adsorbés à la matière organique dissoute. Dans les sols organiques, le lessivage des TEX est plus élevé dans les sols pauvres en matière organique et à texture légère, alors que dans les sols minéraux, le lessivage dépend du type d'argile et de la teneur en eau du sol. Les processus d'adsorption et de biodégradation réduisent la mobilité des TEX dans les sols.

Bioconcentration

Herman et coll. (1991) ont examiné les relations entre le K_{oc} , la bioconcentration, et la toxicité des TEX pour les algues (*Selenastrum capricornutum*). Une forte relation linéaire positive a été rapportée entre la bioconcentration et le K_{oc} ($r^2=0,98$), et entre la bioconcentration et la toxicité (CE_{50} pour la réduction de la croissance) ($r^2=0,99$). Le taux de sorption de ces hydrocarbures aromatiques par les algues était d'abord rapide, et ensuite, relativement constant. Le FBC 12 h pour le toluène, exprimé en logarithme à base 10, était de 1,99. La CE_{50} 8 j était de 9,4 mg·L⁻¹ pour le toluène (Herman et coll., 1991).

Bien que les TEX puissent être accumulés dans les algues (Howard, 1990), le log K_{oc} relativement peu élevé (<4,0) de ces composés indique que le potentiel de bioconcentration est généralement faible (OMS, 1985; Nielsen et Howe, 1991).

Comportement et effets chez le biote

Processus microbiens des sols

Anderson et coll. (1991) ont rapporté que 100 mg de toluène·kg⁻¹ de sol (poids sec) n'était pas toxique pour les micro-organismes du sol. Walton et coll. (1989) ont observé une réduction de l'activité microbienne dans le sol, mesurée en production de CO₂, à 1 000 mg de toluène·kg⁻¹ de sol (poids sec). Toutefois, l'effet a disparu 6 j après l'application, ce qui suggère un faible potentiel d'effets à long terme.

Vonk et coll. (1986) ont mesuré la consommation d'oxygène à court terme et la nitrification dans deux types de sols (le loam et le sable humique) traités au toluène. Les valeurs de la CSEO pour la respiration et la nitrification étaient de 300 à 1 000 et <20 mg·kg⁻¹ de sol (poids humide), respectivement. Les CSEO ne différaient pas selon le type de sol. Sloof et Blokzijl (1988) ont observé que la CSEO du toluène pour la respiration microbienne et l'ammonification dans les sols variait de 100 à 1 300 mg·kg⁻¹ alors que pour la nitrification, la CSEO était <26 mg·kg⁻¹.

Plantes terrestres

Le toluène peut pénétrer dans les plantes par les stomates et la cuticule, et peut ainsi endommager la membrane plasmique. Des concentrations supérieures à 6 mg·L⁻¹ d'air, 500 mg·L⁻¹ de médium aqueux et 1 000 mg·kg⁻¹ de sol (poids humide) ont inhibé la croissance et provoqué la chlorose des plantes (Slooff et Blokzijl, 1988).

Currier (1951) a exposé des semis de tomate, de carotte et d'orge à 12 mg·L⁻¹ de toluène pour une période de 30 à 120 minutes, à 25 °C. L'inhibition de la formation de racine était de 0 à 75 %, 50 à 100 %, et 0 à 25 % pour les tomates, les carottes et l'orge, respectivement. Hung et coll. (1992) rapportent des réponses aberrantes dans la mortalité de semences, dans la germination et dans la vigueur des pousses lorsque des graines de maïs furent trempées dans le toluène pendant une période allant jusqu'à 8 h.

Dans le but de déterminer les niveaux phytotoxiques de toluène dans le sol, Environnement Canada a mené des expériences d'émergence de semis sur les radis (*Raphanus sativa*) et la laitue (*Lactuca sativa*). Les concentrations les plus faibles causant des effets nocifs étaient de 7 et 9 mg de toluène·kg⁻¹ de sol, provoquant des réductions de 25 % de l'émergence des semis de radis et de laitue, respectivement. Bien que ces résultats aient servi à élaborer des recommandations provisoires pour la qualité

des sols en 1997, les données étaient douteuses à cause de certains problèmes liés à la récupération du toluène des sols et à la volatilité du composé (Environnement Canada, 1995).

En raison des progrès importants réalisés en ce qui concerne les techniques de détermination de la toxicité des produits très volatils, de nouveaux essais de toxicité pour les plantes ont été effectués par ESG International en 2002. En utilisant l'agropyre velu (*Agropyron dasystachyum*) et la luzerne (*Medicago Sativa*), on a étudié les effets du toluène sur la longueur des pousses et des racines ainsi que sur la biomasse sèche et humide après 14 jours d'exposition dans des sols grossiers et fins. Dans les sols grossiers, l'indicateur le plus sensible pour la luzerne était la réduction de la masse sèche des pousses (CI₂₅ de 234 mg·kg⁻¹), et celui pour l'agropyre velu était la réduction de la masse sèche des racines, caractérisée par une CI₂₅ de 55 mg·kg⁻¹ (ESG, 2002). Les résultats pour les sols fins publiés par ESG ont été recalculés par Komex (2002) pour tenir compte des pertes par volatilisation qui se produisent entre l'enrichissement de l'échantillon et l'introduction des plantes deux heures plus tard. (Des calculs semblables avaient déjà été faits par ESG pour les données concernant les sols grossiers.) Par conséquent, les concentrations calculées les plus faibles dans les sols fins produisant un effet sur la luzerne et l'agropyre velu étaient respectivement de 120 mg·kg⁻¹ (CI₂₅ pour la réduction de la masse sèche des pousses) et de 112 mg·kg⁻¹ (CI₂₅ pour la réduction de la masse humide des racines) (Komex, 2002).

Invertébrés terrestres

Les plus faibles concentrations de toluène causant des effets nocifs chez les invertébrés du sol proviennent d'une étude d'Environnement Canada (1995). Les vers de terre (*Eisenia foetida*) ont connu une mortalité de 25 % lorsqu'exposés à 44 mg de toluène·kg⁻¹ de sol. Même si cette étude a servi à élaborer les recommandations provisoires pour la qualité des sols en 1997, les mêmes problèmes reliés aux essais de phytotoxicité ont été rencontrés (Environnement Canada, 1995).

Le toluène a causé 100 % de mortalité à une concentration de 2 000 mg·kg⁻¹ de poids corporel par jour et une réduction de croissance à <50 mg·kg⁻¹ de poids corporel par jour lors d'une exposition de 2 à 6 semaines de *E. foetida* (Hartenstein, 1982). Neuhauser et coll. (1985), qui ont exposé *E. foetida* au toluène sur du papier filtre, ont mesuré une CL₅₀ 48 h de 75 µg·cm⁻². Slooff et Blokzijl (1988) ont mesuré une CSEO variant de 15 à 50 mg de toluène·kg⁻¹ de sol (poids sec) pour *E. foetida*.

Vonk et coll. (1986) ont exposé *E. foetida* au toluène dans

un sol artificiel. Les CL₅₀ 14 j et 28 j variaient de 100 à 180 mg·kg⁻¹ de sol (poids humide). La CSEO 28 j pour la mortalité se trouvait dans la même intervalle de concentrations. Des CSEO 28 j de 10 à 32 et de 32 à 100 mg de toluène·kg⁻¹ de sol ont été établies pour l'apparence du ver et pour la production de cocon, respectivement. Le changement d'apparence serait lié à la capacité du toluène de dissoudre les graisses et d'endommager les membranes cellulaires.

Des études commandées par le CCME en 2001 et faisant appel à des techniques de pointe s'appliquant aux composés volatils ont porté sur la toxicité du toluène pour le collembole (*Onychiurus folsomi*) et le lombric (*Eisenia andrei*). La CL₂₅ pour les collemboles était de 521 mg·kg⁻¹ dans les sols grossiers (ESG, 2002), et de 406 mg·kg⁻¹ dans les sols fins (Komex, 2002). Pour les lombrics, il a été impossible de calculer une CL₂₅ 14 j dans les sols grossiers ou fins. Dans les sols grossiers, la CSEO et la CMEO pour les effets nocifs chez les lombrics étaient respectivement de 80 et 172 mg·kg⁻¹ (ESG, 2002). Dans les sols fins, la CSEO et la CMEO pour les effets nocifs chez les vers de terre étaient respectivement de 172 et 368 mg·kg⁻¹ (Komex, 2002).

Bétail et faune

Il n'y a présentement pas d'études spécifiques traitant des effets toxicologiques du toluène chez le bétail et la faune. Les études menées sur les animaux de laboratoire sont abordées dans la section suivante.

Effets sur la santé des humains et des animaux de laboratoire

Chez les animaux, l'absorption des TEX procède par plusieurs voies, dont l'absorption orale, l'inhalation, et l'absorption sous-cutanée et dermique (percutanée). Skowronski et coll. (1989) ont démontré que l'absorption percutanée de toluène est une voie majeure d'exposition chez les rats mâles. Pour la population en général, la voie d'exposition la plus importante est l'inhalation d'air, surtout à l'intérieur de bâtiments, l'absorption journalière estimée variant de 10,7 à 16,7 µg·kg⁻¹ de poids corporel (Santé Canada, 1996a). Pour les fumeurs, la fumée de cigarette est de loin la plus grande source d'exposition au toluène; l'absorption journalière totale peut atteindre environ 60 µg·kg⁻¹ poids corporel par jour pour les adultes. Les personnes vivant près de lieux contaminés et de déchets dangereux où des déversements d'essence et d'huile se sont produits peuvent être exposées à des concentrations élevées de toluène. Le toluène est absorbé rapidement et efficacement par les poumons mais plus lentement et moins efficacement par le tube digestif

(Santé Canada, 1996a). Le toluène est réparti dans les tissus fortement vascularisés et riches en lipides, comme le cerveau, les reins et le foie; cependant, il est surtout accumulé dans les tissus adipeux (Sato, 1988). La transformation de toluène par le métabolisme produit l'acide benzoïque qui se conjugue avec la glycine pour former l'acide hippurique et qui est ensuite excrété dans l'urine (Ogata et coll., 1970). Le toluène a inhibé le cytochrome P₄₅₀, une oxydase à fonction mixte, dans les poumons des rats (Pykkö et coll., 1987).

Dans la plupart des études concernant les humains, aucun effet nocif du toluène sur diverses fonctions neurologiques n'a été observé à la suite d'expositions de 375 mg·m⁻³ ou moins, pour des périodes uniques variant de 20 min à 3,5 h, ou pour des expositions répétées de 3 à 7 h pendant des périodes allant jusqu'à 3 j (Santé Canada, 1996a). Andersen et coll. (1983) ont rapporté une diminution des fonctions neurologiques, une augmentation des symptômes neurologiques et une irritation des voies respiratoires chez 16 volontaires exposés à 375 mg·m⁻³, 6 h par jour pendant 4 j. Les effets sont réversibles dès l'arrêt de l'exposition. Dick et coll. (1984) ont aussi rapporté des effets nocifs au niveau de la vigilance visuelle.

La toxicité aiguë du toluène pour les rats est relativement faible. La DL₅₀ orale est de 2,6 à 7,5 g·kg⁻¹ de poids corporel (Gouvernement du Canada, 1992). Au cours d'une étude de 14 sem. sur des souris, Huff (1990) a mesuré une valeur de 375 mg·m⁻³ comme étant la plus faible concentration de toluène ayant un effet sur des souris mâles et femelles exposées par inhalation (7,5 et 12 % de diminution du poids, respectivement). Les résultats d'études portant sur la toxicité chronique et sur la cancérogénicité du toluène ne sont pas cohérents (Santé Canada, 1996a). Certains résultats indiquent des effets histopathologiques sur l'épithélium olfactif ou des diminutions du poids corporel et du poids du cerveau. Le toluène n'est pas considéré mutagène pour les systèmes microbiens ou mammaliens (Gouvernement du Canada, 1992). Des résultats d'études *in vitro* et *in vivo* indiquent que le toluène n'est pas génotoxique (Santé Canada, 1996a). Le toluène ne semble pas être tératogène pour les souris, les rats ou les lapins, toutefois, ces observations sont fondées sur des données limitées (Santé Canada, 1996a). Donald et coll. (1991) ont observé des effets fœtotoxiques causés par l'inhalation continue de 133 à 2 000 ppm (7 500 mg·m⁻³) de toluène. Des effets neurotoxiques du toluène n'ont été observés qu'à des niveaux supérieurs à ceux rapportés.

Les données épidémiologiques disponibles sont insuffisantes pour évaluer la cancérogénicité et la

clastogénicité du toluène chez les humains. Le toluène ne s'est pas avéré cancérogène à la suite d'inhalation par des rats et des souris au cours d'un bioessai de premier ordre (Huff, 1990) et par des rats dans un bioessai moins sensible (CIIT, 1980). Le poids de la preuve indique que le toluène n'est pas génotoxique pour les mammifères et les systèmes microbiens. Par conséquent, le toluène a été classé dans le Groupe IV-C, « probablement non-cancérigène pour les humains » (Gouvernement du Canada, 1992), selon le système de classification établi pour élaborer les recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé et Bien-être social Canada, 1989). Il a été établi que la dose journalière admissible (DJA) par voie orale était de 0,22 mg·kg⁻¹ de poids corporel par jour (Santé Canada, 1996b). Cette DJA est fondée sur une étude de Huff (1990) qui a fait état d'une DSEO de 312 mg·kg⁻¹ de poids corporel par jour pour ce qui est de l'augmentation relative du poids du foie et du rein des rats mâles exposés par gavage pendant 13 semaines. La concentration acceptable (CA) par inhalation était de 3,8 mg·m⁻³ (Santé Canada, 1996b). Cette valeur de CA est fondée sur une étude dans laquelle Andersen et coll. (1983) ont rapporté une augmentation des symptômes neurologiques et une irritation des voies respiratoires chez les humains volontaires exposés à une concentration de 375 mg·m⁻³, 6 h par jour pendant 4 j. Aucun effet nocif n'a été observé chez les volontaires exposés à 150 mg·m⁻³.

Élaboration des recommandations

Les recommandations canadiennes pour la qualité des sols sont élaborées pour différentes utilisations des terres selon la procédure décrite dans CCME (1996a), à partir de différents récepteurs et scénarios d'exposition propres à chaque utilisation (tableau 1). Diverses modifications apportées au protocole de 1996 et appliquées au standard pancanadien relatif aux hydrocarbures pétroliers dans le sol (CCME, 2000) ont aussi été appliquées à l'élaboration de ces recommandations, y compris celles visant les diverses textures de sols (grosières ou fines) et les profondeurs (surface et sous-sol). Tel que défini dans le standard, les sols à texture fine sont ceux qui contiennent plus de 50 %, en masse, de particules de diamètre moyen inférieur à 75 µm (D₅₀ < 75 µm). Les sols à texture grossière sont ceux qui contiennent plus de 50 %, en masse, de particules de diamètre moyen supérieur à 75 µm (D₅₀ > 75 µm). On entend par sol de surface les matières minérales meubles à la surface immédiate de la terre qui servent de milieu naturel pour la croissance des plantes terrestres jusqu'à une profondeur de 1,5 m, et par sous-sol le régolite meuble au-dessus de la nappe d'eau souterraine qui ne participe pas aux processus de formation du sol et qui comprend supposément les

matières de la zone vadose qui se trouvent à plus de 1,5 m de profondeur. L'élaboration détaillée des recommandations pour la qualité des sols concernant le toluène est décrite dans Environnement Canada (2004).

Recommandations pour la qualité des sols : protection de l'environnement

Les recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement sont fondées sur le contact avec le sol à partir des données provenant d'études de toxicité sur les plantes et les invertébrés. En ce qui concerne les terres à vocation agricole, des données de toxicité relatives à l'ingestion de sol et de nourriture par les mammifères et les oiseaux sont incluses. Dans le but d'élargir le champ de protection, une vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie est effectuée lorsqu'il existe suffisamment de données. Pour les terres à vocation industrielle, une vérification portant sur la migration hors site est aussi effectuée au besoin.

En ce qui concerne le toluène, il y a suffisamment de données pour élaborer une recommandation fondée sur le contact direct des plantes et des invertébrés avec le sol (tableau 2). En raison d'un manque de données, il a été impossible de faire une vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie. En outre, il n'y a pas eu suffisamment de données pour satisfaire aux exigences du protocole du CCME (1996) à suivre pour élaborer la recommandation concernant l'ingestion de sol et de nourriture; toutefois, le processus utilisé pour déterminer les doses journalières admissibles pour les humains a été adapté afin de les calculer pour le bétail. Comme la bioconcentration de toluène dans le fourrage du bétail n'est probablement pas importante, une recommandation a été élaborée seulement pour l'ingestion de sol par le bétail (et non pour l'ingestion de nourriture).

La vérification portant sur la nappe phréatique a été effectuée afin de déterminer les concentrations de toluène dans le sol qui permettront de protéger la vie aquatique d'eau douce et le bétail dans les eaux de surface renouvelées par la nappe d'eau souterraine. Ces valeurs de vérification portant sur la nappe d'eau souterraine ne sont pas utilisées dans l'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en vue de la protection de l'environnement, mais elles devraient l'être pour tenir compte des conditions particulières à chaque site (tableau 2). Aucune vérification de la migration hors site n'a été effectuée pour le toluène puisque, en raison de la volatilité et de la biodégradabilité du toluène, il est improbable que d'importantes quantités subsistent après le transport du sol par le vent ou l'eau.

Recommandations pour la qualité des sols : protection de la santé humaine

Les recommandations pour la qualité des sols en fonction de la santé humaine (RQS_{SH}) en ce qui concerne les contaminants à concentration seuil produisant un effet sont ordinairement élaborées en se servant de la DJA pour le récepteur le plus sensible désigné pour une utilisation des terres. Les recommandations concernant l'ingestion et le contact cutané ont été calculées pour tous les sols de surface, mais ces deux voies de pénétration n'ont pas été jugées applicables aux sous-sols, à moins que le sol n'ait été remanié. Des valeurs de vérification portant sur l'inhalation de vapeurs à l'intérieur de bâtiments ont été calculées pour les sols de surface et les sous-sols. Une valeur de vérification de la nappe d'eau souterraine a été calculée pour déterminer les concentrations de toluène dans le sol qui permettent de protéger l'eau potable.

La RQS_{SH} est la plus faible valeur parmi les valeurs recommandées pour la santé humaine et les valeurs de vérification; dans le cas du toluène, la RQS_{SH} pour toutes les utilisations des terres et tous les types de sols est fondée sur la vérification de la nappe d'eau souterraine pour la protection de l'eau potable (tableau 2).

Recommandations pour la qualité des sols concernant le toluène

Les recommandations pour la qualité des sols ont pour but de protéger à la fois l'environnement et la santé humaine et sont les valeurs les plus faibles des RQS_{SH} et des RQS_E . Lorsqu'il existe suffisamment de données pour les deux recommandations, les critères provisoires de qualité des sols peuvent être remplacés (CCME, 1991).

Dans le cas du toluène, les recommandations pour la qualité des sols équivalent à la RQS_{SH} pour toutes les utilisations des terres et tous les types de sol. Comme il existe suffisamment de données permettant d'élaborer une RQS_{SH} et une RQS_E pour chaque utilisation des terres, les recommandations pour la qualité des sols représentent de nouvelles recommandations entièrement intégrées. Les critères provisoires de qualité des sols pour le toluène (CCME, 1991) et les recommandations pour la qualité des sols concernant cette substance élaborées en 1997 sont remplacés.

Le CCME (1996b) fournit des conseils sur les modifications pouvant être apportées à la recommandation finale pour la qualité des sols lorsqu'on établit des objectifs propres à un lieu.

Tableau 2a. Recommandations et vérifications concernant le toluène (mg·kg⁻¹) dans le sol de surface.

SOL DE SURFACE	Utilisation des terres							
	Agricole		Résidentielle/ parc		Commerciale		Industrielle	
	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin
Recommandation	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a
Santé humaine – recommandations/valeurs de vérification								
RQS _{SH}	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b
Ingestion de sol - recommandation	22 000	22 000	22 000	22 000	82 000	82 000	NA	NA
Contact cutané avec le sol - recommandation	220 000	220 000	220 000	220 000	790 000	790 000	NA	NA
Inhalation de sol - recommandation	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Inhalation de l'air intérieur (sous-sol) - vérification	200	2 600	200	2 600	—	—	—	—
Inhalation de l'air intérieur (dalle) - vérification	120	2 700	120	2 700	1 400	13 000	1 400	13 000
Migration hors site - vérification	—	—	—	—	—	—	NC ^c	NC ^c
Eau souterraine (eau potable) - vérification	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
Produits, viande et lait - vérification	NC ^d	NC ^d	NC ^d	NC ^d	—	—	—	—
Environnement – recommandations/valeurs de vérification								
RQS _E	75 ^e	110 ^e	75 ^f	110 ^f	250 ^f	330 ^f	250 ^f	330 ^f
Contact avec le sol - recommandation	75	110	75	110	250	330	250	330
Ingestion de sol et de nourriture – recommandation	1 400	1 400	—	—	—	—	—	—
Cycles des nutriments et de l'énergie - vérification ^g	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Migration hors site - vérification	—	—	—	—	—	—	NC ^c	NC ^c
Eau souterraine (bétail) - vérification	1 800 ^h	NC ⁱ	—	—	—	—	—	—
Eau souterraine (vie aquatique) - vérification	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ
Critère provisoire de qualité du sol (CCME, 1991)		0,1		3		30		30

Notes : NA = recommandation calculée >1 000 000 mg·kg⁻¹; NC = non calculée; ND = non déterminée; RQS_E = recommandation pour la qualité des sols : environnement; RQS_{SH} = recommandation pour la qualité des sols : santé humaine. Le tiret indique une recommandation/valeur de vérification qui ne fait pas partie du scénario d'exposition pour cette utilisation des terres et n'est donc pas calculée.

^aLes données sont suffisantes pour calculer une RQS_{SH} et une RQS_E. La recommandation pour la qualité des sols est donc la plus faible de ces deux valeurs et représente une nouvelle recommandation entièrement intégrée élaborée conformément au protocole pour les sols (CCME, 1996a). Le critère provisoire correspondant de qualité des sols (CCME, 1991) est remplacé par la recommandation pour la qualité des sols.

^bLa RQS_{SH} est la plus faible des valeurs recommandées et de vérification concernant la santé humaine.

^cEn raison de la volatilité et de la biodégradabilité du toluène, il est improbable que d'importantes quantités subsistent après le transport du sol par le vent ou l'eau; cette voie d'exposition n'a donc pas été évaluée.

^dCette vérification vise à protéger contre les produits chimiques pouvant donner lieu à une bioconcentration dans les aliments des humains. Comme on ne prévoit pas que le toluène ait ce comportement, cette voie d'exposition n'a pas été évaluée.

^eLa RQS_E concernant les utilisations agricoles des terres est fondée sur la plus faible des valeurs recommandées pour le contact avec le sol et l'ingestion de sol et de nourriture.

^fLa RQS_E est fondée sur la valeur recommandée pour le contact avec le sol.

^gLes données sont insuffisantes pour vérifier les cycles des nutriments et de l'énergie pour cette utilisation des terres.

^hCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement est provisoire parce qu'elle n'est pas fondée sur la recommandation canadienne actuelle pour la qualité de l'eau concernant le toluène en vue de l'abreuvement du bétail. Pour obtenir des précisions sur l'élaboration, voir le document scientifique à l'appui (Environnement Canada, 2004). Cette valeur n'est pas utilisée dans l'élaboration de la recommandation nationale pour la qualité des sols, mais elle est fournie comme référence pour une application propre à un lieu.

ⁱCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement n'a pas été déterminée parce que les calculs montrent que la migration de la nappe phréatique à travers des sols fins sera inférieure à 10 mètres après 100 ans. Pour des calculs propres à un lieu où la protection de l'eau potable est

active, on devrait présumer que la conductivité hydraulique est de 32 m·an⁻¹ s'il n'existe pas de mesures convenables.

^jCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement n'est pas utilisée dans l'élaboration de la recommandation nationale pour la qualité des sols, mais elle est fournie comme référence pour une application propre à un lieu.

Tableau 2b. Recommandations et vérifications concernant le toluène (mg·kg⁻¹) dans le sous-sol.

SOUS-SOL	Utilisation des terres							
	Agricole		Résidentielle/ parc		Commerciale		Industrielle	
	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin	Grossier	Fin
Recommandation	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a	0,37^a	0,08^a
Santé humaine – recommandations/valeurs de vérification								
RQS _{SH}	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b	0,37 ^b	0,08 ^b
Ingestion de sol - recommandation	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Contact cutané avec le sol – recommandation	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Inhalation de sol - recommandation	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Inhalation de l'air intérieur (sous-sol) - vérification	200	2 600	200	2 600	—	—	—	—
Inhalation de l'air intérieur (dalle) - vérification	140	2 800	140	2 800	1 500	13 000	1 500	13 000
Migration hors site - vérification	—	—	—	—	—	—	NC ^c	—
Eau souterraine (eau potable) - vérification	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08	0,37	0,08
Produits, viande et lait - vérification	NC ^d	NC ^d	NC ^d	NC ^d	—	—	—	—
Environnement – recommandations/valeurs de vérification								
RQS _E	150 ^e	220 ^e	150 ^f	220 ^f	500 ^f	660 ^f	500 ^f	660 ^f
Contact avec le sol - recommandation	150	220	150	220	500	660	500	660
Ingestion de sol et de nourriture - recommandation	NC	NC	—	—	—	—	—	—
Cycles des nutriments et de l'énergie - vérification ^g	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Migration hors site - vérification	—	—	—	—	—	—	NC ^c	NC ^c
Eau souterraine (bétail) - vérification	1 800 ^h	NC ⁱ	—	—	—	—	—	—
Eau souterraine (vie aquatique) - vérification	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ	0,10 ^j	NC ⁱ
Critère provisoire de qualité du sol (CCME, 1991)	0,1		3		30		30	

Notes : NC = non calculée; ND = non déterminée; RQS_E = recommandation pour la qualité des sols : environnement; RQS_{SH} = recommandation pour la qualité des sols : santé humaine. Le tiret indique une recommandation/valeur de vérification qui ne fait pas partie du scénario d'exposition pour cette utilisation des terres et n'est donc pas calculée.

^aLes données sont suffisantes pour calculer une RQS_{SH} et une RQS_E. La recommandation pour la qualité des sols est donc la plus faible de ces deux valeurs et représente une nouvelle recommandation entièrement intégrée élaborée conformément au protocole pour les sols (CCME, 1996a). Le critère provisoire correspondant de qualité des sols (CCME, 1991) est remplacé par la recommandation pour la qualité des sols.

^bLa RQS_{SH} est la plus faible des valeurs recommandées et de vérification concernant la santé humaine.

^cEn raison de la volatilité et de la biodégradabilité du toluène, il est improbable que d'importantes quantités subsistent après le transport du sol par le vent ou l'eau; cette voie d'exposition n'a donc pas été évaluée.

^dCette vérification vise à protéger contre les produits chimiques pouvant donner lieu à une bioconcentration dans les aliments des humains. Comme on ne prévoit pas que le toluène ait ce comportement, cette voie d'exposition n'a pas été évaluée.

^eLa RQS_E concernant les utilisations agricoles des terres est fondée sur la plus faible des valeurs recommandées pour le contact avec le sol et l'ingestion de sol et de nourriture.

^fLa RQS_E est fondée sur la valeur recommandée pour le contact avec le sol.

^gLes données sont insuffisantes pour vérifier les cycles des nutriments et de l'énergie pour cette utilisation des terres.

^hCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement est provisoire parce qu'elle n'est pas fondée sur la recommandation

canadienne actuelle pour la qualité de l'eau concernant le toluène en vue de l'abreuvement du bétail. Pour obtenir des précisions sur l'élaboration, voir le document scientifique à l'appui (Environnement Canada, 2004). Cette valeur n'est pas utilisée dans l'élaboration de la recommandation nationale pour la qualité des sols, mais elle est fournie comme référence pour une application propre à un lieu.

ⁱCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement n'a pas été déterminée parce que les calculs montrent que la migration de la nappe phréatique à travers des sols fins sera inférieure à 10 mètres après 100 ans. Pour des calculs propres à un lieu où la protection de l'eau potable est active, on devrait présumer que la conductivité hydraulique est de $32 \text{ m}\cdot\text{an}^{-1}$ s'il n'existe pas de mesures convenables.

^jCette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement n'est pas utilisée dans l'élaboration de la recommandation nationale pour la qualité des sols, mais elle est fournie comme référence pour une application propre à un lieu.

Références

- Allen, R.M. 1991. *Fate and transport of dissolved monoaromatic hydrocarbons during study infiltration through unsaturated soil*. Thèse de Doctorat, Université de Waterloo, Waterloo, ON.
- Andersen, I., G.R. Lundqvist, L. Molhave, O.F. Pedersen, D.F. Procter, M. Vaeth et D.P. Wyon. 1983. Human response to controlled levels of toluene in six-hour exposures. *Scand. J. Work Environ. Health* 9:405–418
- Anderson, T.A., J.J. Beauchamp et B.T. Walton. 1991. Organic chemicals in the environment: Fate of volatile and semivolatile organic chemicals in soils — Abiotic versus biotic losses. *J. Environ. Qual.* 20:420–424.
- APCE (Association pétrolière pour la conservation de l'environnement canadien). 1987. *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapours at service stations. (Phase II summer study.)* Rapport n° 87-5 de l'APCE. Ottawa.
- . 1989. *A study of exposure to motor gasoline hydrocarbon vapours at service stations. (Phase III winter study.)* Rapport n° 89-3 de l'APCE. Ottawa.
- Ashworth, R.A. 1988. Air–water partition coefficients of organics in dilute aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* 18:25–36.
- Aurelius, M.W. et K.W. Brown. 1987. Fate of spilled xylene as influenced by soil moisture content. *Water Air Soil Pollut.* 36:23–31.
- Barbaro, J.R., J.F. Barker, L.A. Lemon et C.I. Mayfield. 1992. Biotransformation of BTEX under anaerobic, denitrifying conditions: Field and laboratory observations. *J. Contam. Hydrol.* 11:245–272.
- Barker, J.F., E.A. Sudicky, C.I. Mayfield et R.W. Gillham. 1989. *Petroleum hydrocarbon contamination of groundwater: Natural fate and in situ remediation, a summary report*. Rapport n° 89-5 de l'APCE. Association pétrolière pour la conservation de l'environnement canadien, Ottawa.
- Beller, H.R., D. Grbić-Galić et M. Reinhard. 1992. Microbial degradation of toluene under sulfate-reducing conditions and the influence of iron on the process. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(3):786–793.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1991. *Critères provisoires canadiens de qualité environnementale pour les lieux contaminés*. CCME, Winnipeg.
- . 1996a. *Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine*. CCME, Winnipeg. [Un résumé du protocole figure au chapitre 7 des *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999, Winnipeg.]
- . 1996b. *Document d'orientation sur l'établissement d'objectifs particuliers à un terrain en vue d'améliorer la qualité du sol des lieux contaminés au Canada*. CCME, Winnipeg. [Repris dans les *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, chapitre 7, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999, Winnipeg.]
- . 2000. *Canada-wide Standards for petroleum hydrocarbons (PHC) in soil: Scientific rationale, supporting technical document*. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- Chiang, C.Y., J.P. Salanitro, E.Y. Chai, J.D. Colthart et C.L. Klien. 1989. Aerobic biodegradation of benzene, toluene, and xylene in a sandy aquifer: Data analysis and computer modelling. *Ground Water* 27:823–834.
- Chiou, C.T., L.J. Peters et V.H. Freed. 1981. Soil–water equilibria for nonionic organic compounds. *Science* 213(7):683–684.
- CIIT (Chemical Industry Institute of Toxicology). 1980. *Final report: A twenty-four month inhalation toxicology study in Fischer-344 rats exposed to atmospheric toluene*. CIIT Docket No. 2200, CIIT/IBT Labs, Inc., Research Triangle Park, NC.
- Currier, H.B. 1951. Herbicidal properties of benzene and certain methyl derivatives. *Hilgardia* 20:383–406.
- Dann, T., D. Wang et A. Etlinger. 1989. *Volatile organic compounds in Canadian ambient air: A new emphasis*. PMD 89-26. Environnement Canada, Conservation et Protection, Division de la mesure de la pollution.
- Dick, R.B., J.V. Setzer, R. Wait, M.B. Hayden, B.J. Taylor, B. Tolos et V. Putz-Anderson. 1984. Effects of acute exposure of toluene and methylethylketone on psychomotor performance. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 54:91–109.
- Donald, J.M., K. Hooper et C. Hopenhayn-Rich. 1991. Reproductive and developmental toxicity of toluene. *Environ. Health Perspect.* 94:237–244.
- Edwards, E.A., L.E. Wills, M. Reinhard et D. Grbić-Galić. 1992. Anaerobic degradation of toluene and xylene by aquifer microorganisms under sulfate-reducing conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(3):794–800.
- El-Dib, M.A., A.S. Moursy et M.I. Badawy. 1978. Role of adsorbents in the removal of soluble aromatic hydrocarbons from drinking water. *Water Res.* 12:1113–1137.
- English, C.W. et R.C. Loehr. 1991. Degradation of organic vapours in unsaturated soils. *J. Hazard. Mater.* 28:55–63.
- Environnement Canada. 1995. *Toxicity testing of National Contaminated Sites Remediation Program priority substances for the development of soil quality criteria for contaminated sites*. Service de la conservation de l'environnement, Direction de l'évaluation et de l'interprétation, Division des recommandations, Ottawa. Inédit.
- . 2004. *Canadian soil quality guidelines for toluene, ethylbenzene and xylene (TEX): Scientific Supporting document*. Direction de la qualité de l'environnement et de la politique scientifique, Bureau national des recommandations et des normes, Ottawa.
- ESG International Inc. 2002. *Quantification of the exposure concentrations and toxicity of BTEX compounds in soil*. Rapport préparé pour le Groupe de travail des recommandations pour la qualité des sols du Conseil canadien des ministres de l'environnement. Rapport G1603, juin 2002.
- Evans, P.J., D.T. Mang et L.Y. Young. 1991a. Degradation of toluene and *m*-xylene and transformation of *o*-xylene by denitrifying enrichment cultures. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(2):450–454.
- Evans, P.J., D.T. Mang, K.S. Kim et L.Y. Young. 1991b. Anaerobic degradation of toluene by a denitrifying bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 57(4):1139–1145.
- Garbarini, D.R. et L.W. Lion. 1986. Influence of the nature of soil organics on the sorption of toluene and trichloroethylene. *Environ. Sci. Technol.* 20(12):1263–1269.
- Gouvernement du Canada. 1992. Toluène. Liste des substances d'intérêt prioritaire – rapport d'évaluation, *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Environnement Canada et Santé Canada, Ottawa.
- Grbić-Galić, D. et T.M. Vogel. 1987. Transformation of toluene and benzene by mixed methanogenic cultures. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:254–260.
- Haag, F., M. Reinhard et P.L. McCarty. 1991. Degradation of toluene and *p*-xylene in anaerobic microcosms: Evidence for sulfate as a terminal electron acceptor. *Environ. Toxicol. Chem.* 10:1379–1389.
- Hartenstein, R. 1982. Effect of aromatic compounds, humic acids and lignins on growth of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.* 14:595–599.
- Herman, D.C., C.I. Mayfield et W.E. Inness. 1991. The relationship between toxicity and bioconcentration of volatile aromatic hydrocarbons by the alga *Selenastrum capricornutum*. *Chemosphere* 22(7):665–676.
- Howard, P.H., éd. 1990. *Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI.
- Huff, J. 1990. *Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of toluene (CAS No. 108-88-3) in F33/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies)*. NTP TR371, Publication NIH n° 90-2826. National Toxicology Program, U.S. Department of Health and

- Human Services, Public Health Service, National Institute of Health, Research Triangle Park, North Carolina.
- Hung, P.E., V.A. Fritz et L. Waters, Jr. 1992. Infusion of shrunken-2 sweet corn seed with organic solvents: Effects on germination and vigour. *Hort. Sci.* 27(5):467-470.
- Hutchins, S.R. 1991. Optimizing BTEX biodegradation under denitrifying conditions. *Environ. Toxicol. Chem.* 10:1437-1448.
- Isodorov, V.A., I.G. Zenkevich et B.V. Ioffe 1990. Volatile organic compounds in sulfataric gases. *J. Atmos. Chem.* 10:292-313.
- Jin, Y. et G.A. O'Connor. 1990. Behaviour of toluene added to sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.* 19:573-579.
- Johnson, R.L., J.A. Cherry et J.F. Pankow. 1989. Diffusive contaminant transport in natural clay: A field example and implications for clay-lined waste disposal site. *Environ. Sci. Technol.* 23:340-349.
- Jury, W., A.M. Winer, W.F. Spencer et D.D. Foch. 1987. « Transport and transformation of organic chemicals in the soil-air-water ecosystem, dans *Reviews of environmental contamination and toxicology*, vol. 99, G.W. Ware, éd. Springer-Verlag, Londres.
- Kampbell, D.H., J.T. Wilson, H.W. Read et T.T. Stocksdale. 1987. Removal of volatile aliphatic hydrocarbons in a soil bioreactor. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 37:1236-1240.
- Komex. 2002. *Derivation of revised benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes soil guidelines*. Préparé par Komex International Inc. pour le Groupe de travail des recommandations pour la qualité des sols du Conseil canadien des ministres de l'environnement.
- Lesage, S., J.K. Ritch et E.J. Treciokas. 1990. Characterization of ground water contaminants at Elmira, Ontario, by thermal desorption, solvent extraction Gc-MS and HPLC. *Water Pollut. Res. J. Can.* 25:275-292.
- Lesage, S., R.E. Jackson, M.W. Priddle, P. Beck et K.G. Raven 1991. Investigation of possible contamination of shallow ground water by deeply injected liquid industrial wastes. *Ground Water Monit. Rev.* (Été 1991).
- Mackay, D., W.Y. Shiu et K.C. Ma. 1992. *Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Vol. I, Monoaromatic hydrocarbons*. Lewis Publishers, Londres.
- MEEO (Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario). 1993a. *Ontario typical range of chemical parameters in soil, vegetation, moss bags and snow*. Version 1.0a. PIBS 2792. Division de l'élaboration des normes, Section de phytotoxicologie, Toronto.
- . 1993b. *Interim guidelines for the assessment and management of petroleum-contaminated sites in Ontario*. Direction des normes sur les polluants dangereux, Toronto.
- Miller, R.N., R.E. Hinchee, C.M. Vogel, R.R. Dupont et D.C. Downey. 1990. « A field scale investigation of enhanced petroleum hydrocarbon degradation in the vadose-zone at Tyndall AFB, Florida », dans *Proceedings: Petroleum hydrocarbons and organic chemicals in groundwater: Prevention, detection and restoration*, NWWA/API, Houston, Texas, 31 octobre-2 novembre.
- NAQUADAT (*National Water Quality Data Bank – Base nationale de données sur la qualité des eaux*). 1992. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa.
- Neuhauser, E.F., R.C. Loehr, M. R. Malecki, D.L. Milligan et P.R. Durkin. 1985. The toxicity of selected organic chemicals to the earthworm *Eisenia fetida*. *J. Environ. Qual.* 14(3):383-388.
- Nielson, I.R. et P.D. Howe. 1991. *Environmental hazard assessment: Toluene*. Department of the Environment, Directorate for Air, Climate and Toxic Substances, Toxic Substances Division, Garston, Watford, Royaume-Uni.
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). 1973. *Occupational exposure to toluene: Criteria for a recommended standard*. NIOSH 73-11023. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service [Cincinnati, OH.]
- Ogata, M., K. Tomokuni et Y. Takatsuka. 1970. Urinary excretion of hippuric acid and *m*- or *p*-methylhippuric acid in the urine of persons exposed to vapours of toluene and *m*- or *p*-xylene as a test of exposure. *Br. J. Ind. Med.* 27: 43-50.
- OMS (Organisation mondiale de la santé). 1985. *Toluène. Critère d'hygiène de l'environnement* 52. Genève.
- Otson, R. 1987. Purgeable organics in Great Lakes raw and treated water. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 31:41-53.
- Parker, L.V., and T.F. Jenkins. 1986. Removal of trace-level organics by slow-rate land treatment. *Water Res.* 20:1417-1426.
- Pykkö, K., S. Paavilainen, T. Metsä-Ketelä et K. Laustiola 1987. The increasing and decreasing effects of aromatic hydrocarbon solvents on pulmonary and hepatic cytochrome P-450 in the rat. *Pharmacol. Toxicol.* 60:288-293.
- Rutherford, D.W. et C.T. Chiou. 1992. Effect of water saturation in soil organic matter on the partition of organic compounds. *Environ. Sci. Technol.* 26(5):965-970.
- Santé Canada. 1996a. *Canadian soil quality guidelines for toluene: Human health effects*. Direction de l'hygiène du milieu, Section de l'air et des déchets, Ottawa. Ébauche.
- . 1996b. *Health-based tolerable daily intakes/concentrations and tumorigenic doses/concentrations for priority substances*. Direction de l'hygiène du milieu, Direction générale de la protection de la santé, Ottawa. 96-EHD-194.
- Santé et Bien-être social Canada. 1989. *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Pièces à l'appui*. Bureau des dangers des produits chimiques, Ottawa.
- Sato, A. 1988. Toxicokinetics of benzene, toluene and xylenes. *IARC Sci. Publ.* 85:47-64.
- Schwarzenbach, R.P. et J. Westall. 1981. Transport of nonpolar organic compounds from surface water to groundwater: Laboratory sorption studies. *Environ. Sci. Technol.* 15:1360-1366.
- SIAMD (Système d'information sur les accidents concernant les marchandises dangereuses). 1992. *Toluene accidents 1988-1991*. Ottawa, Transports Canada, Direction générale du transport des marchandises dangereuses.
- Skowronski, G.A., R.M. Turkall et M.S. Abdel-Rahman. 1989. Effects of soil on percutaneous absorption of toluene in male rats. *J. Toxicol. Environ. Health* 26:373-384.
- Slooff, W. et P.J. Blokzijl. 1988. *Integrated criteria document: Toluene*. Rapport n° 758473010. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Pays-Bas.
- Utkin, I.B., L.N. Matveeva et I.S. Rogozhin. 1992. Degredation of benzene, toluene and *o*-xylene by a *Pseudomonas* sp. Y13 culture. Trad. de *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya* 28(3):368-370. Russian Academy of Sciences. Plenum Publishing, Moscou.
- Vonk, J.M., D.M.M. Adema et D. Barug. 1986. « Comparison of the effects of several chemicals on microorganisms, higher plants and earthworms », dans *Contaminated soils*, J.W. Assink et W.J. van den Brink, Martinus Nijhoff Publishers, éd. Dordrecht, Pays-Bas.
- Walton, B.R., T.A. Anderson, M.S. Hendricks et S.A. Talmage. 1989. Physicochemical properties as predictors organic chemical effects on soil microbial respiration. *Environ. Toxicol. Chem.* 8:53-63.

Ce feuillet d'information a initialement été publié dans le document de travail intitulé « Recommandations canadiennes pour la qualité des sols » (Conseil canadien des ministres de l'environnement, mars 1997, Winnipeg). Une version revue et éditée a été présentée dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement* (CCME, 1999). En 2002-2003, de nouvelles recommandations ayant été élaborées pour le toluène, le feuillet d'information a de nouveau été révisé.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2004. « Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine – toluène (2004) ». Dans : *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.

Pour les questions de nature scientifique, veuillez contacter :

Environnement Canada
Bureau national des recommandations et des normes
351, boul. St-Joseph
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : (819) 953-1550
Télécopieur : (819) 953-0461
Courrier électronique : ceqg-rcqe@ec.gc.ca
Adresse Internet : <http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe>

Pour obtenir d'autres exemplaires de ce document, veuillez
contacter :

Documents du CCME
Sans frais : (800) 805-3025
Adresse Internet : <http://www.ccme.ca>

Also available in English.