



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

XYLÈNES 2004

Ce feuillet d'information présente les recommandations canadiennes pour la qualité des sols concernant les xylènes 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, 2003).

Information générale

Les xylènes ($C_6H_4(CH_3)_2$; CAS 1330-20-7), aussi connus sous le nom d'alkylbenzènes, sont des hydrocarbures monoaromatiques formés de deux groupes méthyles liés à un anneau benzénique. Les xylènes comprennent trois isomères, le *o*-, le *m*- et le *p*-xylène, selon la position du groupe méthyle sur l'anneau benzène (1,2-, 1,3- et 1,4-

respectivement). Les trois isomères du xylène ont une pression de vapeur (8,8-11,80 kPa, à 25 °C) et une constante de la loi de Henry ($436-1115 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mole}^{-1}$) élevées et sont donc sujets à une volatilisation rapide. Ils ont aussi un potentiel de saturation de l'air élevé. Ces caractéristiques, en plus d'un point d'éclair peu élevé (17,0 et 25,0 °C, respectivement), les rendent extrêmement inflammables. Leur solubilité dans l'eau est faible ($122-223 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, à 25 °C), mais elle est suffisamment élevée pour soulever des préoccupations environnementales. Leur coefficient de partage octanol-eau est modéré, soit 3,15, 3,20 et 3,18 pour le *o*-xylène, le *m*-xylène, et le *p*-xylène, respectivement (MacKay et coll., 1992), ce qui indique une solubilité modérée dans les graisses et, par conséquent, un potentiel modéré de bioaccumulation (Environnement Canada, 1996).

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

| | 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 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| RQS _{SH} | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| RQS _E | 95 | 65 | 95 | 65 | 350 | 230 | 350 | 230 |
| <u>Sous-sol</u> | | | | | | | | |
| Recommandation^a | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| RQS _{SH} | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| RQS _E | 190 | 130 | 190 | 130 | 700 | 460 | 700 | 460 |

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, des xylènes en phase libre se formeront probablement à des concentrations supérieures à $600 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol grossier ou à $610 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol fin.

§ Les valeurs recommandées s'appliquent à la somme des trois isomères du xylène.

^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.

Le toluène, l'éthylbenzène et les trois xylènes isomères (*ortho*, *mé*ta et *para*) font partie de la grande catégorie de produits organiques volatils qui sont des hydrocarbures monoaromatiques composés d'un anneau de benzène avec substitution alkyle. Ces composés, désignés collectivement sous le nom de TEX, sont souvent étudiés ensemble en plus du benzène, puisqu'ils sont tous 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 du pétrole et du charbon. Le toluène et les xylènes sont produits sous forme de mélange aromatique avec le benzène, principalement à partir du reformate catalytique dans les raffineries, et en second lieu comme sous-produits de la fabrication d'oléfines durant 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, 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 xylènes dans les essences utilisées en Ontario sont de 6,9 % dans le sans plomb régulier et de 8,0 % dans le super sans plomb (MEEQ, 1993b).

L'introduction des TEX dans l'atmosphère est due en grande partie à une combustion incomplète des carburants de pétrole par les véhicules automobiles, et à la volatilisation des solvants et des 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 les sites d'enfouissement, d'accidents et de déversements durant 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. Des concentrations de xylènes s'étalant de $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en zones rurales (Dann et Wang, 1992) à $22\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ au-dessus de sites d'enfouissement (Dann et Gonthier, 1986) ont été observées.

Les concentrations de xylènes dans l'eau varient de $0,32$ à $1,72 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ à travers le Canada (NAQUADAT, 1992). Dans les boues d'épuration, on a mesuré des concentrations de *o*-xylène de $52 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et de *m*- et *p*-xylène de $1\,417 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (MEO, 1992).

Les données sur les concentrations de xylènes dans les sols et les sédiments de l'environnement canadien sont rares. Le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario fait mention de valeurs du 98^e centile des concentrations de xylènes dans les sols de parcs ruraux et de vieux parcs urbains, n'ayant pas été affectés par des sources locales ponctuelles de pollution, de $0,92$ et $0,80 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivement (MEEQ, 1993a).

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 TEX n'ont pas de groupes hydrolysables; l'hydrolyse n'est donc pas une voie importante de transformation. De même, ils ne se dégradent pas directement par photolyse (Howard, 1990; Mackay et coll., 1992). Cependant, dans l'atmosphère, ils se dégradent en réagissant avec les 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 est dépendante 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 ($>10^{-3} \text{atm}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mol}^{-1}$) des TEX les rendent sujets à une volatilisation rapide à partir des sols, les demi-vies s'étalant de 2,2 à 28 j (Howard, 1990; Anderson et coll., 1991).

L'adsorption réduit la mobilité vers le bas des TEX dans les sols et affecte leur taux de biotransformation. La matière organique des sols, surtout 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 sur les minéraux argileux comme la bentonite, l'illite et la kaolinite. L'adsorption dans le sol augmente avec l'augmentation des concentrations 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 sont capables d'utiliser

les TEX comme source de carbone et les décomposer en CO₂ et en eau. Les espèces de *Pseudomonas* sont les principales bactéries responsables de la dégradation dans les sols; d'autres espèces telles que *Arthrobacter* sont aussi reconnues comme étant capables de dégrader les TEX (Utkin et coll., 1992). Les demi-vies de dégradation varient habituellement entre 5 et 10 j et sont typiquement <20 j (Grbić-Galić et Vogel, 1987; Chiang et coll., 1989; Evans et coll., 1991a, 1991b; Haag et coll., 1991; Mackay et coll., 1992). La dégradation peut survenir autant en milieu aérobie qu'anaérobie. En milieu aérobie, la quantité d'oxygène dans le sol est le principal facteur de contrôle (Barker et coll., 1989; Chiang et coll., 1989; Allen, 1991). La disponibilité des 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, à cause 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 en ajoutant des nitrates et des sulfates au 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 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.

Bioconcentration

Herman et coll. (1991) ont examiné la relation entre le K_{oc}, la bioconcentration et la toxicité des TEX dans les algues (*Selenastrum capricornutum*). Une forte relation linéaire positive existe entre la bioconcentration et le K_{oc} (r² = 0,98), et entre la bioconcentration et la toxicité (CE₅₀ pour la réduction de la croissance) (r² = 0,99). Le taux de sorption de ces hydrocarbures aromatiques par les algues était d'abord rapide, puis relativement constant. Les FBC 12 h pour les xylènes, exprimés en logarithmes à base 10, étaient de 2,41, 2,40 et 2,34 pour le *m*-, le *o*- et le *p*-xylène, respectivement. Les CE₅₀ 8 j étaient de 4,4, 3,9, et 4,2 mg·L⁻¹ pour le *m*-, le *o*-, et le *p*-xylène, respectivement (Herman et coll., 1991).

Bien que les TEX puissent s'accumuler dans les algues (Howard, 1990), le log K_{oc} relativement faible (< 4,0) des composés TEX indique que le potentiel de bioconcentration est généralement faible (OMS, 1997; Nielsen et Howe, 1991).

Comportement et effets chez le biote

Dans la revue qui suit, les isomères du xylène qui ont été testés ont été spécifiés lorsque les auteurs en ont fait mention. Dans bien des cas, comme les isomères n'ont pas été mentionnés, le terme xylène peut s'entendre d'un mélange d'isomères de composition variable.

Processus microbiens des sols

Hutchins (1991) a observé que le *m*-xylène inhibait le taux de dénitrification dans le sol d'un aquifère au Michigan. Eisman et coll. (1991) ont étudié la toxicité d'un mélange de combustibles constitué de toluène, d'*o*-xylène, de *n*-octane, de cyclohexane, de cyclohexène, de benzène et de naphthalène, à l'aide du bioessai Microtox (*Photobacterium phosphorium*). Les concentrations causant une diminution de 50 % de la bioluminescence, suite à une exposition de 5 min, étaient de 200 et 456 µg·L⁻¹ pour le *o*-xylène et le toluène, respectivement. Pour la fraction soluble dans l'eau, la CE₅₀ 5 min était de 21 et 66 µg·L⁻¹, pour le *o*-xylène et le toluène, respectivement. La volatilité à court terme n'était pas un facteur déterminant puisque les CE₅₀ sont demeurées constantes pour les périodes d'essai allant de 2,5 à 15 min. Anderson et coll. (1991) ont noté qu'une concentration de *p*-xylène de 100 mg·kg⁻¹ de poids sec de sol n'était pas toxique pour les micro-organismes du sol.

Plantes terrestres

Le xylène a été utilisé comme herbicide sélectif dans les cultures de carottes et pour le contrôle des plantes aquatiques submergées. Bruns et Kelly (1974) n'ont observé aucun symptôme détectable de blessure ou de diminution de rendement pour plusieurs types de culture (luzerne, tomates, maïs nain, courges, pommes de terre et haricots) après des applications de xylène de 370, 740 et 1 480 mg·L⁻¹.

Dans le but de déterminer les niveaux phytotoxiques de xylène dans le sol, Environnement Canada a mené en 1995 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 observables étaient de 32 et 5 mg de xylène·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 xylène 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 des xylènes 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 421 mg·kg⁻¹), et celui pour l'agropyre velu était la réduction de la masse humide des racines, caractérisée par une CI₂₅ de 90 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 92 mg·kg⁻¹ (CI₂₅ pour la réduction de la masse sèche des pousses) et de 241 mg·kg⁻¹ (CI₂₅ pour la réduction de la longueur des racines) (Komex, 2002).

Invertébrés terrestres

C'est l'étude d'Environnement Canada qui mentionne la plus faible concentration de xylènes causant des effets nocifs chez les invertébrés du sol. Les vers de terre (*Eisenia foetida*) ont connu une mortalité de 25 % après avoir été exposés à 56 mg de xylènes.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).

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 des xylènes pour le collembole (*Onychiurus folsomi*) et le lombric (*Eisenia andrei*). Dans les sols grossiers, la CL₂₅ pour les collemboles était de 733 mg·kg⁻¹, et la CSEO et la CMEO pour les effets nocifs chez les lombrics étaient respectivement de 8 et 78 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 invertébrés 24 heures plus tard. (Des calculs semblables avaient déjà été faits par ESG pour les données concernant les sols grossiers.) Par conséquent, dans les sols fins, la CL₂₅ pour les collemboles était de 835 mg·kg⁻¹, tandis que la CSEO

et la CMEO pour les effets nocifs chez les vers de terre étaient respectivement de 8 et 78 mg·kg⁻¹ (Komex, 2002).

Bétail et faune

Aucune étude spécifique portant sur les effets toxicologiques des xylènes chez le bétail et la faune n'a été relevée. Les études se rapportant aux animaux de laboratoire sont présentées à 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, l'absorption sous-cutanée et dermique. Les TEX sont absorbés et répartis rapidement dans tout le corps de l'animal. Ils sont préférentiellement emmagasinés dans les tissus adipeux, mais ils s'accumulent aussi bien dans les reins, le foie et le cerveau. L'excrétion dans l'urine est la voie majeure d'élimination du corps (Chin et coll., 1980; Skowronski et coll., 1989; Mattia et coll., 1991; Turkall et coll., 1991).

Le xylène de qualité technique, qui est utilisé commercialement, contient de l'éthylbenzène et les trois isomères du xylène. Dans la majorité des études toxicologiques réalisées à ce jour, les animaux de laboratoire ont été exposés à ce mélange plutôt qu'aux isomères individuels. De même, dans les études épidémiologiques, les travailleurs ont été exposés au xylène de qualité technique et à d'autres solvants. Ainsi, les données disponibles sont insuffisantes pour évaluer les risques pour la santé reliés à l'exposition aux isomères individuels. De plus, dans l'environnement, et de façon générale, la population est davantage susceptible d'être exposée au xylène plutôt qu'aux isomères individuels (Gouvernement du Canada, 1993).

Au cours d'un bioessai bien effectué, le xylène administré oralement n'a eu aucun effet cancérigène sur les rats et les souris (NTP, 1986). Le poids de la preuve disponible indique aussi que le xylène n'est pas génotoxique (Gouvernement du Canada, 1993). Par conséquent, le xylène a été classé dans le Groupe IV, « probablement non cancérigène pour l'humain », du système de classification établi par le Bureau des dangers des produits chimiques (Santé et Bien-être social Canada, 1989).

Pour les composés classés dans le Groupe IV, une DJA est calculée à partir d'une CSE(N)O ou d'une DME(N)O provenant d'études sur les humains ou des espèces animales, par la voie d'exposition la plus pertinente. Le

calcul de la DJA inclut une division par un facteur d'incertitude. Pour le xylène, les études où des volontaires ont été exposés se limitent surtout à une exposition répétée et de courte durée, impliquant un nombre restreint de sujets, à des concentrations de 100 ppm ($435 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) de *m*-xylène ou plus (Riihimaki et Savolainen, 1980; Savolainen, 1980; Savolainen et coll., 1980, 1982, 1984, 1985; Seppalainen et coll., 1989). Comme les études disponibles impliquant des volontaires et les études épidémiologiques citées précédemment sont limitées (c.-à-d., le pouvoir limité de détection d'effets et la confusion due à l'exposition concomitante à d'autres substances), les données disponibles sont considérées insuffisantes pour permettre l'élaboration d'une DJA fondée sur des études impliquant les humains. C'est pourquoi Santé Canada a établi une DJA et une concentration acceptable (CA) pour le xylène fondées sur les résultats d'études portant sur des espèces animales (Gouvernement du Canada, 1993; Santé Canada, 1996).

L'inhalation est considérée comme la principale voie d'exposition au xylène pour la population en général. Selon une étude limitée, la plus faible concentration à laquelle des effets significatifs (c.-à-d., des effets fœtotoxiques en l'absence de toxicité maternelle) ont été observés est de $500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, à la suite d'inhalation de xylène (Ungvary and Tatrai, 1985). À cette concentration des effets embryotoxiques modérés, tel qu'un retard dans le gain de poids corporel, ont été observés chez les nouveaux-nés de lapins exposés continuellement au xylène dont la composition chimique n'est pas spécifiée, entre le 7^e et le 20^e jour de la gestation. Toutefois, il est important de noter que dans cette même étude, des toxicités maternelles (non spécifiées) et fœtales (retard du développement squelettique) ont été observées chez des rats exposés à $250 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (la plus faible concentration administrée), pendant la gestation, indiquant que les rats sont possiblement plus sensibles. Les données disponibles n'éliminent pas la possibilité que des effets similaires à ceux observés chez les lapins puissent être observés chez des rats exposés à des concentrations plus faibles.

Ghosh et coll. (1987) ont observé des effets neurocomportementaux transitoires chez les rats, à des concentrations similaires (c.-à-d., $492 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pendant 2 h) et Savolainen et Pfaffli (1980) ont signalé des effets biochimiques au cerveau, dont la signification n'est pas claire, à des concentrations légèrement plus faibles (50 ppm , $218 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pendant 2 sem.), chez les rats. Au cours des études de plus longue durée (c.-à-d. d'études de toxicité sub-chronique) sur les effets de l'inhalation de xylène, la plus faible concentration à laquelle des effets (une augmentation transitoire du rapport entre le poids du foie et le poids corporel) ont été observés à partir du nombre restreint d'études disponibles est de 320 ppm

($1\,400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), pour de petits groupes de rats continuellement exposés pendant 90 j au xylène (composition non-spécifiée; un seul groupe exposé) (Kyrklund et coll. 1987). Cependant, au cours d'une autre étude adéquate portant sur une série d'indicateurs, aucun effet n'a été observé chez des rats ou des beagles exposés à des concentrations atteignant $3\,500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de xylène, 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 13 sem. (Carpenter et coll., 1975).

Dans les études portant sur l'inhalation par des espèces animales, la plus faible concentration d'isomères du xylène ayant entraîné des effets nocifs était de $150 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, ce qui a provoqué une perte accrue d'implantations, une diminution du poids placentaire et un retard dans le développement squelettique des nouveau-nés en l'absence de toxicité maternelle à la suite de l'exposition continue de rates gravides au *p*-xylène entre le 7^e et le 14^e jour de gestation (Ungvary et coll., 1980).

La base de données concernant les effets d'une exposition de longue durée au xylène par voie d'ingestion, est plus complète que celle pour l'inhalation. La plus faible DSEO signalée dans l'étude de plus longue durée à ce jour, où du xylène été administré oralement (gavage dans l'huile de maïs), est de $250 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour. Cette DSEO est fondée sur une diminution de 5 à 8 % du poids corporel des rats mâles observée à la dose suivante la plus élevée ($500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour) au cours d'un bioessai de deux ans mené par le Programme national de toxicologie (NTP, 1986). On considère que la diminution du poids corporel est indicatrice d'une légère toxicité. La survie a aussi été réduite à $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour au cours de cette étude; toutefois, certains décès étaient attribués au gavage. La DSE(N)O mesurée dans la seule étude disponible sur la toxicité affectant le développement, au cours de laquelle le xylène était administré oralement, était considérablement supérieure à la DSE(N)O calculée dans le bioessai du NTP (c.-à-d., $1\,030 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour) (Marks et coll., 1982). De plus, les DSE(N)O pour les isomères individuels, au cours d'études de toxicité sub-chronique dans lesquelles du *m*- ou du *p*-xylène était administré, sont légèrement inférieures à la DSE(N)O du bioessai de deux ans du NTP (c.-à-d., $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour) (Hazleton Labs, 1988a, 1988b).

La dose quotidienne moyenne totale estimée de xylène provenant de différentes sources pour différents groupes d'âge de la population canadienne varie de 5,4 à $8,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour.

Santé Canada a calculé une DJA orale de $1,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour et une CA provisoire pour l'inhalation de $0,18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Gouvernement du Canada,

1993; Santé Canada, 1996). La DJA orale est fondée sur une étude de Condie et coll. (1988), qui a fait état d'une DSE(N)O de $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour pour ce qui est de l'augmentation du poids du foie des rats à la suite d'une exposition aux xylènes administrés par gavage pendant 90 jours. La CA pour l'inhalation est fondée sur une étude portant sur le développement, dans laquelle Ungvary et Tatrai (1985) ont rapporté une CMEO de $250 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pour les effets toxiques chez la mère et pour le retard du développement squelettique des fœtus chez les rats exposés aux xylènes entre le 7^e et le 14^e jour de gestation.

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 (grossières 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 $75 \mu\text{m}$ ($D_{50} < 75 \mu\text{m}$). Les sols à texture grossière sont ceux qui contiennent plus de 50 %, en masse, de particules de diamètre moyen supérieur à $75 \mu\text{m}$ ($D_{50} > 75 \mu\text{m}$). 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 phréatique 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 les xylènes 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 (RQS_E) sont fondées sur le contact avec le sol à partir de 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.

En ce qui concerne les xylènes, 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 acceptables pour les humains a été adapté afin de les calculer pour le bétail. Comme la bioconcentration de xylènes 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 d'eau souterraine a été effectuée afin de déterminer les concentrations de xylènes 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 les xylènes puisque, en raison de la volatilité et de la biodégradabilité des xylènes, 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 nécessitent le calcul d'une DJA pour le récepteur le plus sensible désigné pour une utilisation des terres. Les recommandations concernant l'ingestion et le contact avec la peau ont été calculées pour tous les sols de surface, mais ces deux voies d'exposition n'ont pas été jugées applicables aux sous-sols, à moins que le sol n'ait été remanié.

Le CCME recommande l'application au besoin de

différents mécanismes de vérification dans le but d'élargir le champ de protection (tableau 2). 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 xylènes dans le sol qui permettent de protéger l'eau potable. Une vérification hors site n'a pas été effectuée parce qu'il est improbable qu'il y aurait encore d'importantes concentrations de xylènes à la suite de son transport par le vent ou l'eau en raison de la grande volatilité et biodégradabilité de ces composés.

La RQS_{SH} est la plus faible des diverses valeurs recommandées et de vérification. Dans le cas des xylènes, la RQS_{SH} est donc 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 les xylènes

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 des xylènes, 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 xylène (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 les xylènes (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 | 11 ^a | 2,4 ^a | 11 ^a | 2,4 ^a | 11 ^a | 2,4 ^a | 11 ^a | 2,4 ^a |
| Santé humaine – recommandations/valeurs de vérification | | | | | | | | |
| RQS _{SH} | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^b |
| Ingestion de sol - recommandation | 150 000 | 150 000 | 150 000 | 150 000 | 560 000 | 560 000 | NA | NA |
| Contact cutané avec le sol - recommandation | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| Inhalation de sol - recommandation | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC | NC |
| Inhalation de l'air intérieur (sous-sol) - vérification | 22 | 320 | 22 | 320 | — | — | — | — |
| Inhalation de l'air intérieur (dalles) - vérification | 14 | 320 | 14 | 320 | 160 | 1 600 | 160 | 1 600 |
| Migration hors site - vérification | — | — | — | — | — | — | NC ^c | NC ^c |
| Eau souterraine (eau potable) - vérification | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| Produits, viande et lait - vérification | NC ^d | NC ^d | NC ^d | NC ^d | — | — | — | — |
| Environnement – recommandations/valeurs de vérification | | | | | | | | |
| RQS _E | 95 ^e | 65 ^e | 95 ^f | 65 ^f | 350 ^f | 230 ^f | 350 ^f | 230 ^f |
| Contact avec le sol - recommandation | 95 | 65 | 95 | 65 | 350 | 230 | 350 | 230 |
| Ingestion de sol et de nourriture - recommandation | 3 700 | 3 700 | — | — | — | — | — | — |
| 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 | 20 000 ^h | NC ⁱ | — | — | — | — | — | — |
| Eau souterraine (vie aquatique) - vérification | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ |
| Critère provisoire de qualité du sol (CCME, 1991) | 0,1 | | 5 | | 50 | | 50 | |

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 des xylènes, 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 les xylènes aient 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 que, lorsqu'elle a été calculée, il n'existait pas de recommandation canadienne pour la qualité des eaux concernant les xylènes (abreuvement du bétail) permettant de la fonder. 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 est provisoire parce que, lorsqu'elle a été calculée, il n'existait pas de recommandation canadienne pour la qualité des eaux concernant les xylènes (protection de la vie aquatique) permettant de la fonder. Le calcul détaillé est présenté dans le document de Komex (2002). Cette 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 les xylènes (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 | 11^a | 2,4^a | 11^a | 2,4^a | 11^a | 2,4^a | 11^a | 2,4^a |
| Santé humaine – recommandations/valeurs de vérification | | | | | | | | |
| RQS _{SH} | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^b | 11 ^b | 2,4 ^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 | 22 | 320 | 22 | 320 | — | — | — | — |
| Inhalation de l'air intérieur (dalles) - vérification | 16 | 340 | 16 | 340 | 170 | 1 600 | 170 | 1 600 |
| Migration hors site - vérification | — | — | — | — | — | — | NC ^c | — |
| Eau souterraine (eau potable) - vérification | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 | 11 | 2,4 |
| Produits, viande et lait - vérification | NC ^d | NC ^d | NC ^d | NC ^d | — | — | — | — |
| Environnement – recommandations/valeurs de vérification | | | | | | | | |
| RQS _E | 190 ^e | 130 ^e | 190 ^f | 130 ^f | 700 ^f | 460 ^f | 700 ^f | 460 ^f |
| Contact avec le sol - recommandation | 190 | 130 | 190 | 130 | 700 | 460 | 700 | 460 |
| 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 | 20 000 ^h | NC ⁱ | — | — | — | — | — | — |
| Eau souterraine (vie aquatique) - vérification | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ | 37 ^j | NC ⁱ |
| Critère provisoire de qualité du sol (CCME, 1991) | 0,1 | | 5 | | 50 | | 50 | |

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 dégradabilité du xylène, 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 xylène 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.

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

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

^h Cette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement est provisoire parce que, lorsqu'elle a été calculée, il n'existait pas de recommandation canadienne pour la qualité des eaux concernant les xylènes (abreuvement du bétail) permettant de la fonder. 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.

ⁱ Cette 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.

^j Cette valeur de vérification de la nappe phréatique pour l'environnement est provisoire parce que, lorsqu'elle a été calculée, il n'existait pas de recommandation canadienne pour la qualité des eaux concernant les xylènes (protection de la vie aquatique) permettant de la fonder. Le calcul détaillé est présenté dans le document de Komex (2002). Cette 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.
- Anderson, T.A., J.J. Beauchamp et B.T. Walton. 1991. Fate of volatile and semivolatile organic chemicals in soils: Abiotic versus biotic losses. *J. Environ. Qual.* 20:420-424.
- 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.
- Bruns, V.F. et A.D. Kelly. 1974. *Effect of sprinkler irrigation with xylene-treated water on six crops*. Bulletin 796. College of Agriculture Research Centre, Washington State University.
- Carpenter, C.P., E.R. Kinkead, D.L. Geary, Jr., L.J. Sullivan et J.M. King. 1975. Petroleum hydrocarbon toxicity studies: V, Animal and human responses to vapours of mixed xylenes. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 33:543-558.
- 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. Klein. 1989. Aerobic biodegradation of benzene, toluene, and xylene in a sandy aquifer: Data analysis and computer modelling. *Ground Water* 27:823-834.
- Chin, B.H., J.A. McKelvey, L.J. Calisti, S.J. Kozbelt et L.J. Sullivan. 1980. Absorption distribution and excretion of ethylbenzene, ethylcyclo-hexane and methylethylbenzene isomers in rats. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 24:477-483.
- Chiou, C.T., L.J. Peters et V.H. Freed. 1981. Soil-water equilibria for nonionic organic compounds. *Science* 213(7):683-684.
- Condie, L.W., J.R. Hill et J.F. Borzelleca. 1988. Oral toxicology studies with xylene isomers and mixed xylenes. *Drug Chem. Toxicol.* 11:329-354.
- Dann, T. et C. Gonthier. 1986. Measurement of volatile organics at an abandoned waste disposal site, Montréal, Québec, Canada. *J. Am. Chem. Soc.* 26:390-393.
- Dann, T. et D. Wang. 1992. *Volatile organic measurements in Canadian urban and rural areas: 1989-1990*. Proc. of 85th Meeting of Air and Waste Management Association, 92-75.16.
- 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.
- Eisman, M.P., S. Landon-Arnold et C.M. Swindoll. 1991. Determination of petroleum hydrocarbon toxicity with Microtox®. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47:811-816.
- 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.* 12:1131-1137.
- 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.
- . 1996. *Canadian soil quality guidelines for toluene, ethylbenzene and xylene (TEX): Environmental. Supporting document — Final draft*. Décembre 1996. Direction de la qualité de l'environnement et de la politique scientifique, Division des recommandations, Ottawa.
- . 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.
- Ghosh, T.K., R.J. Copeland, R.N. Parui, S. Mookherjee et N. Pradhan. 1987. Effects of xylene inhalation on fixed-ratio responding in rats. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 27:653–657.
- Gouvernement du Canada. 1993. Xylènes. Liste des substances d'intérêt prioritaire – rapport d'évaluation, *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Environnement Canada et Santé Canada, Ottawa.
- Grić-Galić, D. et T.M. Vogel. 1987. Transformation of toluene and benzene by mixed methanogenic cultures. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(2):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.
- Hazleton Labs (Hazleton Laboratories America Inc.). 1988a. *Sub-chronic toxicity in rats with m-xylene*. Rapport final pour Dynamic Corporation, Rockville, MD.
- . 1988b. *Sub-chronic toxicity in rats with p-xylene*. Rapport final pour Dynamic Corporation, Rockville, MD.
- Herman, D.C., C.I. Mayfield et W.E. Inniss. 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.
- Hutchins, S.R. 1991. Optimizing BTEX biodegradation under nitrifying conditions. *Environ. Toxicol. Chem.* 10:1437–1448.
- Isodorov, V.A., I.G. Zenkevich et B.V. Ioffe. 1990. Volatile organic compounds in solfataric 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, Springer-Verlag, G.W. Ware, éd. 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.
- Kyrklund, T., P. Kjellstrand et K. Haglid 1987. Brain lipid changes in rats exposed to xylene and toluene. *Toxicology* 45:123–133.
- Lesage, S., R.E. Jackson, M.W. Priddle, P. Beck et K.G. Raven. 1991. Investigation of possible contamination of shallow groundwater by deeply injected liquid industrial wastes. *Ground Water Monit. Rev.* (Été 1991).
- Lesage, S., J.K. Ritch et E.J. Treciokas 1990. Characterization of groundwater contaminants at Elmira, Ontario, by thermal desorption, solvent extraction GC-MS and HPLC. *Water Pollut. Res. J. Can.* 25:275–292.
- Mackay, D., W.Y. Shui et K.C. Ma. 1992. *Illustrated handbook of physico-chemical properties and environmental fate for organic chemicals*. vol. 1. Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI.
- Marks, T.A., T.A. Ledoux et J.A. Moore. 1982. Teratogenicity of a commercial xylene mixture in the mouse. *J. Toxicol. Environ. Health* 9:97–105.
- Mattia, C.J., C.P. LeBel et S.C. Bondy. 1991. Effects of toluene and its metabolites on cerebral reactive oxygen species generation. *Biochem. Pharmacol.* 42(4):879–882.
- 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.
- MEO (Ministère de l'Environnement de l'Ontario). 1992. *Interim guidelines for the remediation of petroleum contamination at operating retail and private fuel outlets 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*. Proc. Petroleum hydrocarbons and organic chemicals in ground water: 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.
- Nielsen, I.R. et P.D. Howe. 1991. *Environmental hazard assessment: Toluene*. Department of the Environment, Directorate of Air, Climate and Toxic Substances, Toxic Substances Division, Garston, Watford, Royaume-Uni.
- NTP (National Toxicology Program). 1986. *Toxicology and carcinogenesis studies of xylenes (mixed)*. Série technique, rapport n° 327. Publication NIH n° 87-2583. NTP, Research Triangle Park, NC.
- OMS (Organisation mondiale de la Santé). 1997. *Xylènes. Critère d'hygiène de l'environnement 190*. Genève.
- Parker, L.V. et T.F. Jenkins. 1986. Removal of trace-level organics by slow-rate land treatment. *Water Res.* 20(11):1417–1426.
- Riihimaki, V. et K. Savolainen. 1980. Human exposure to *m*-xylene: Kinetics and acute effects on the central nervous system. *Ann. Occup. Hyg.* 23:411–422.
- 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. 1996. *Canadian Environmental Protection Act Priority Substances List supporting documentation : 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.
- Santé et Bien-être social Canada. 1989. *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Pièces à l'appui*. Direction de l'hygiène du milieu, Bureau des dangers des produits chimiques, Ottawa.
- Savolainen, K. 1980. Combined effects of xylene and alcohol on the central nervous system. *Acta Pharmacol. Toxicol.* 46:366–372.
- Savolainen, K. et P. Pfaffi. 1980. Dose-dependent neurochemical changes during short-term inhalation exposure to *m*-xylene. *Arch. Toxicol.* 45:117–122.
- Savolainen, K., V. Riihimaki, A.M. Seppalainen et M. Linnoila. 1980. Effects of short-term *m*-xylene exposure and physical exercise on the central nervous system. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 45:105–121.
- Savolainen, K., V. Riihimaki et A. Laine. 1982. Biphasic effects of

- inhaled solvents on human equilibrium. *Acta Pharmacol. Toxicol.* 51:237-242.
- Savolainen, K., J. Kekoni, V. Riihimäki et A. Laine. 1984. Immediate effects of *m*-xylene on the human central nervous system. *Arch. Toxicol.* 7:412-417.
- Savolainen, K., V. Riihimäki, O. Muona, J. Kekoni, R. Luukkonen et A. Laine. 1985. Conversely exposure-related effects between atmospheric *m*-xylene concentrations and human body sense of balance. *Acta Pharmacol. Toxicol.* 57:67-71.
- 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.
- Seppäläinen, A.M., A. Laine, T. Salmi, V. Riihimäki et E. Verkkala. 1989. Changes induced by short-term xylene exposure in human evoked potentials. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 61:443-449.
- 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.
- Turkall, R.M., G.A. Skowronski et M.S. Abdel-Rahman. 1991. Differences in kinetics of pure and soil-adsorbed toluene in orally exposed male rats. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 20:155-160.
- Ungvary, G. et E. Tatrai. 1985. On the embryotoxic effects of benzene and its alkyl derivatives in mice, rats and rabbits. *Arch. Toxicol. Suppl.* 8:425-430.
- Ungvary, G., S. Manyai, E. Tatrai, S.Z. Szebereny, R.J. Cseh, J. Molnar et G. Folly. 1980. Effect of toluene inhalation on the liver of rats: Dependence on sex, dose and exposure time. *J. Hyg. Epidemiol. Microbiol. Immunol.* 24:242-252.
- Utkin, I.B., L.N. Matveeva et I.S. Rogozhin. 1992. Degradation 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.

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 les xylènes, 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 – xylènes (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.