



# Revue et évaluation des modèles d'estimation de l'absorption cutanée des contaminants du sol

## Rapport synthèse

Stéphane Buteau, M. Sc., Institut national de santé publique du Québec



information



formation



recherche



coopération  
internationale

## INTRODUCTION

---

L'estimation de l'exposition aux contaminants par le contact cutané, particulièrement à partir du sol, est une étape du processus de l'évaluation de risque qui demeure des plus incertaines, d'autant plus que la documentation concernant l'absorption cutanée des contaminants est loin d'être complète. Il est vrai, qu'à priori, la peau est une voie d'absorption complexe. Le média (eau, air, sol), servant de véhicule aux substances toxiques, ainsi que plusieurs autres paramètres doivent être considérés lors de l'estimation de l'absorption cutanée. Malgré le fait que des auteurs aient proposé des équations afin d'estimer quantitativement l'absorption des contaminants chimiques du sol à travers la peau, aucun de ces modèles n'a été validé à ce jour.

Le but de ce travail était de comparer et d'évaluer les différents modèles utilisés par les consultants afin d'estimer l'absorption cutanée des contaminants du sol. Ce projet a été réalisé dans la perspective de mettre à jour les Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS, 2002), étant donné qu'elles ne contiennent aucune directive quant à l'estimation de l'exposition cutanée.

## MÉTHODOLOGIE

---

La méthode employée a consisté, dans un premier temps, en une revue des notions entourant le processus d'absorption cutanée et des modèles de la littérature permettant d'estimer l'absorption cutanée des contaminants du sol. Ensuite, certains de ces modèles ont été appliqués aux conditions d'exposition de quatre situations s'étant présentées au cours des dernières années au Québec et ayant fait l'objet d'une évaluation du risque à la santé humaine lié à la contamination des sols.

Pour des raisons de confidentialité, les cas étudiés de même que l'identité des consultants ne sont pas divulgués dans le présent rapport. Les modèles étudiés dans ce travail sont ceux de Mckone & Howd (1992), de CalTOX 1.5, CalTOX 2.3 et 4.0, du MEF (1996) et de la U.S. EPA (1989). Dans l'équation de la U.S. EPA (1989), la fraction d'absorption (Fabs) a été fixée respectivement à 1 % et à 10 % pour les contaminants inorganiques et organiques, tel que fait par le consultant B et suggéré par la U.S. EPA (1995). Il est à noter que l'outil d'estimation des doses d'exposition et des risques toxicologiques (outil toxicologique « ERT »), développé au sein de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) sous forme de fichier Excel, se base sur le modèle de la U.S. EPA (1989) afin de modéliser les doses absorbées de contaminants du sol par voie cutanée (Valcke et Beausoleil, 2004).

Le choix des modèles énumérés précédemment est justifié par le fait que la majorité de ceux-ci ont été retenus par les consultants pour estimer les doses absorbées par voie cutanée, tel qu'en fait foi le tableau 1. Les équations utilisées pour calculer les doses de contaminants du sol absorbées par voie cutanée sont présentées ci-après.

Cette démarche a donc pour but de permettre la comparaison entre :

- les doses absorbées estimées pour une même substance, à partir des différents modèles;

- la dose fournie par le consultant et celle calculée à partir du même modèles;
- la facilité d'utilisation des modèles.

## ÉQUATIONS UTILISÉES POUR L'ESTIMATION DES DOSES DE CONTAMINANTS DU SOL ABSORBÉES PAR VOIE CUTANÉE

---

- **Mckone & Howd (1992)**

$$DCA = ARs \times SA / PC \times DE \times FE \times CF \times Csol \times EV / AT$$
$$ARs = \delta_{sol} \times (n / g) \{1 - e^{-n \times t}\}$$
$$n = g + (Ksa / \delta_{sol}), \quad g = Kss / \delta_{sol}$$

- **CalTOX 1.5 (1993)**

$$DCA = Csol \times ARs \times CF \times FE / 365 \times f_{sol} \times SA / PC$$
$$ARs = \delta_{sl} \times [1 - e^{-Kp_{sol} \times TE / \delta_{sl}}]$$

- **CalTOX 2.3 (1996) et 4.0 (2002)**

$$DCA = Csol / 2 \times FA \times SA / PC \times f_{sol} \times FE / 365 \times 0,01 \times Fabs$$
$$Fabs = 1 - e^{-[(ET_{ai} + ET_{ao} / 2) \times (Kp_{eau} / Kd \times 1,7) / (FA / 0,015)]}$$

- **U.S. EPA (1989)**

$$DCA = Csol \times SA \times FA \times Fabs \times 1E-6 \times Fev \times Ft / PC$$
$$Fabs = 10 \% \text{ (organiques) ou } 1 \% \text{ (inorganiques)}$$

- **MEF (1996)**

$$DCA = \frac{SA \times Csol \times 1E-6 \times \rho_{sol} \times Kp_{sol} \times t}{Ksol + Kvol} \times 1 - e^{-\rho_{sol} \times Kp_{sol} \times t} \times Fev / PC$$

## GLOSSAIRE DES PARAMÈTRES PRÉSENTS DANS LES ÉQUATIONS SERVANT À ESTIMER LES DOSES ABSORBÉES

<b>ARs</b>	rapport dose absorbée et concentration dans le sol (mg/cm <sup>2</sup> de peau par mg/cm <sup>3</sup> de sol)
<b>AT</b>	temps moyen d'exposition (jours)
<b>CF</b>	facteur de conversion de la densité du sol (15 kg/cm par m <sup>2</sup> ), basé sur une densité particulaire de 1 500kg/m <sup>3</sup> (Versar inc., 1997)
<b>Csol</b>	concentration dans le sol (mg/kg)
<b>δsl</b>	épaisseur de la couche de sol sur la peau (cm)
<b>δsol</b>	quantité de sol par unité de surface (ml/cm <sup>2</sup> )
<b>DCA</b>	dose absorbée par voie cutanée (mg/kg/jour)
<b>DE</b>	durée d'exposition (années)
<b>Etai</b>	temps d'exposition, d'activité intérieure (h/jour)
<b>ETao</b>	temps d'exposition, à l'extérieur, à la maison (h/jour)
<b>EV</b>	fréquence d'événement (événement/jour)
<b>Fabs</b>	fraction absorbée (sans unité)
<b>FA</b>	facteur d'adhérence sol-peau (mg/cm <sup>2</sup> ou mg/cm <sup>2</sup> /événement)
<b>FE</b>	fréquence d'exposition (jour/an)

<b>Fev</b>	fréquence d'exposition (1 événement/jour)
<b>f<sub>sol</sub></b>	fraction totale du corps exposée au sol (sans unité)
<b>Ft</b>	fraction de temps, sur une base annuelle, passée sur le site avec exposition, soit le nombre de jours d'exposition divisé par 365 jours (sans unité)
<b>Kd</b>	coefficient de partition dans la couche racinaire du sol (sans unité)
<b>Kp eau</b>	coefficient de perméabilité cutanée à partir de l'eau (cm/h)
<b>Kp sol</b>	coefficient de perméabilité cutanée à partir du sol (cm/h)
<b>Ksol</b>	coefficient de disparition du contaminant par absorption du sol (h-1)
<b>Kvol</b>	coefficient de disparition du contaminant par volatilisation (h-1)
<b>Kss</b>	coefficient de partage entre le sol et la peau (cm/h)
<b>Ksa</b>	coefficient de partage entre le sol et l'air (cm/h)
<b>PC</b>	poids corporel (kg)
<b>p<sub>sol</sub></b>	densité particulaire du sol (mg/cm <sup>3</sup> )
<b>SA</b>	surface cutanée exposée (cm <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> )
<b>t</b>	temps d'exposition par événement (h)
<b>TE</b>	temps d'exposition (h/jour)

### TABLEAU I

Modèle et équation utilisés par chacun des consultants afin d'estimer l'absorption cutanée des contaminants du sol pour les différents cas étudiés

Consultant	Équation utilisée	Cas réel d'évaluation de risque réalisés par le consultant
Consultant A	MEF (1996)	Cas # 1 et cas # 2
Consultant B	U.S. EPA (1989)	Cas # 3
Consultant C	CalTOX 2.3	Cas # 4

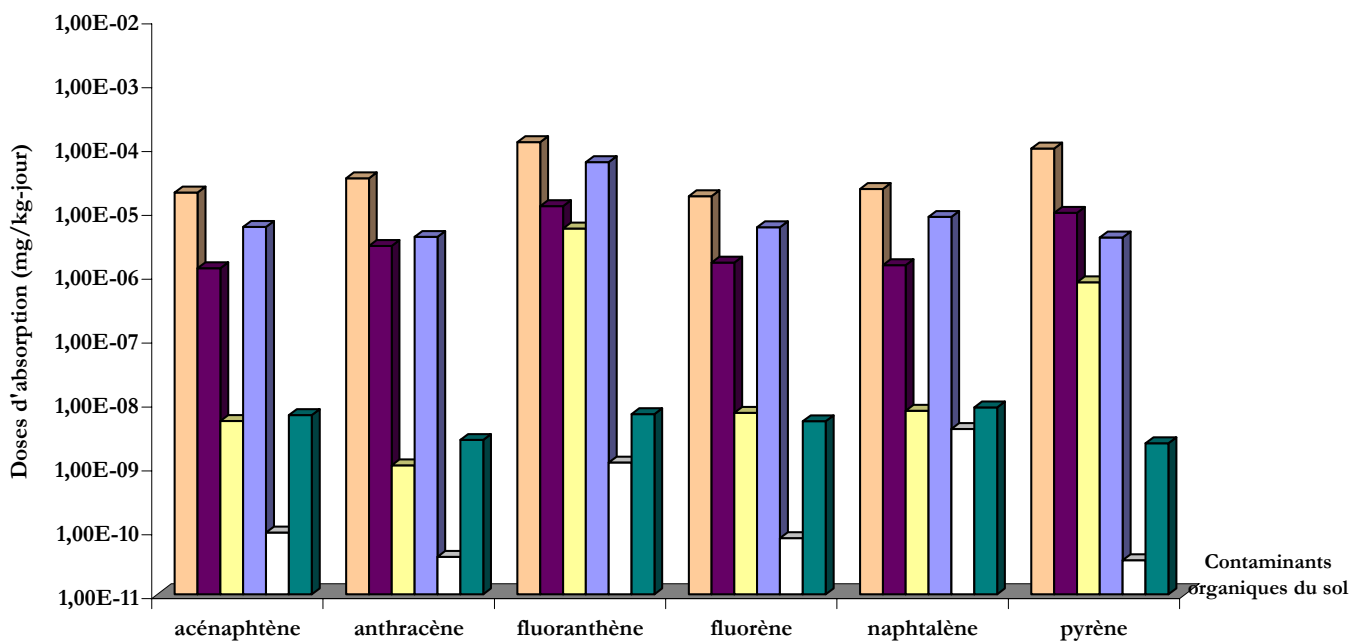
## DOSES CALCULÉES À L'AIDE DES DIVERS MODÈLES DANS LE CONTEXTE DES CAS PRATIQUES À L'ÉTUDE

Les résultats obtenus sont présentés ci-après sous forme de figures. Les figures 1 et 2 présentent respectivement les doses calculées pour des substances organiques et inorganiques selon les différents modèles d'absorption cutanée en fonction des conditions d'exposition du scénario du cas # 4.

Quant aux figures 3 et 4, elles montrent les doses calculées selon les conditions d'exposition des quatre cas à l'étude, pour une même substance. Dans le cas de la figure 3, les doses absorbées ont été calculées pour un contaminant organique, l'acénaphthène, alors que dans la figure 4, une substance inorganique est représentée, soit l'arsenic. Ces deux figures permettent de juger de la variabilité entre les doses calculées à l'aide de différents modèles pour une même substance et de comparer les doses calculées à celles fournies par le consultant impliqué. Puisque le modèle de McKone & Howd (1992), est exclusivement applicable aux substances organiques, il n'apparaît pas sur les figures 2 et 4.

**FIGURE 1**

Doses cutanées absorbées (mg/kg-jour) calculées pour les substances organiques du sol, à l'aide des différents modèles mathématiques et selon les conditions d'exposition du cas # 4



### Modèles utilisés :

■ McKone & Howd (1992)

■ US EPA (1989)

■ MEF (1996)

■ CalTOX 1,5 (1993)

□ CalTOX 2,3 (1996)

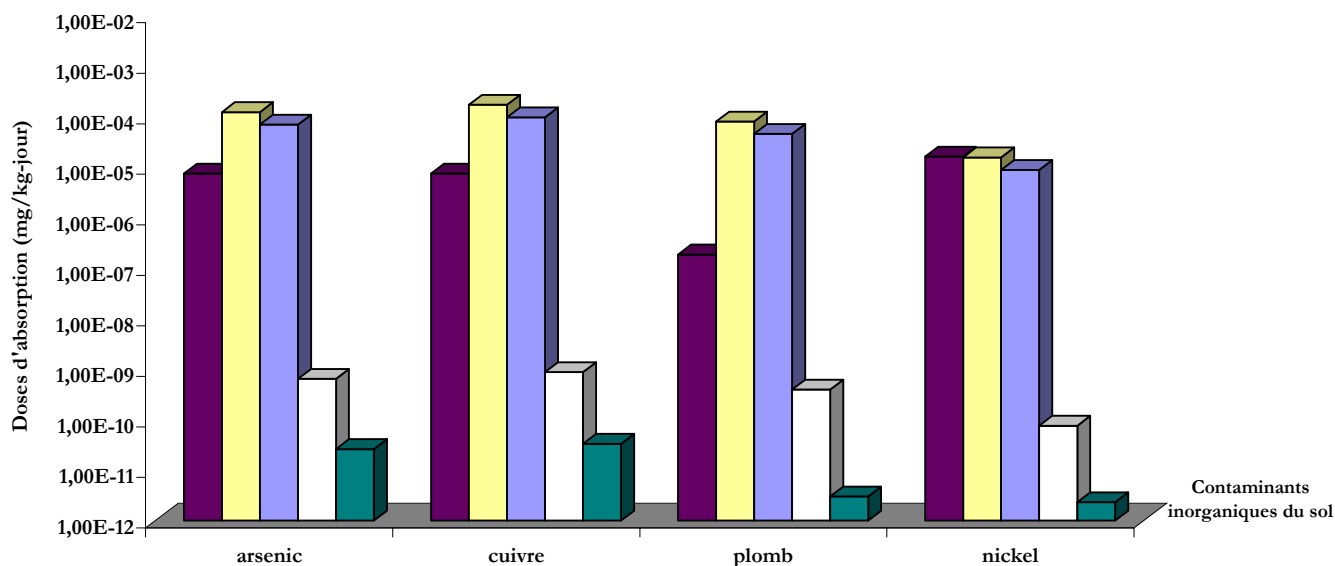
■ CalTOX 2,3 (consultant)

Dans la figure 1, on observe pour quatre des six substances à l'étude (acénaphthène, anthracène, fluorène et pyrène) une différence de deux ordres de grandeur entre les doses absorbées estimées à partir du modèle CalTOX 2.3 et celles calculées par le consultant à partir de ce même modèle. À l'exception du fluoranthène, les doses calculées à l'aide du modèle du MEF (1996) se rapprochent

davantage des doses obtenues par le consultant. Quant aux autres modèles, les doses calculées sont supérieures à celles présentées par le consultant. De façon générale, les plus faibles doses absorbées calculées résultent de l'application du modèle du MEF (1996), alors que les plus élevées sont obtenues à partir du modèle de McKone & Howd (1992).

## FIGURE 2

Doses cutanées absorbées (mg/kg-jour) calculées pour les substances inorganiques du sol à l'aide des différents modèles mathématiques et selon les conditions d'exposition du cas # 4



### Modèles utilisés :

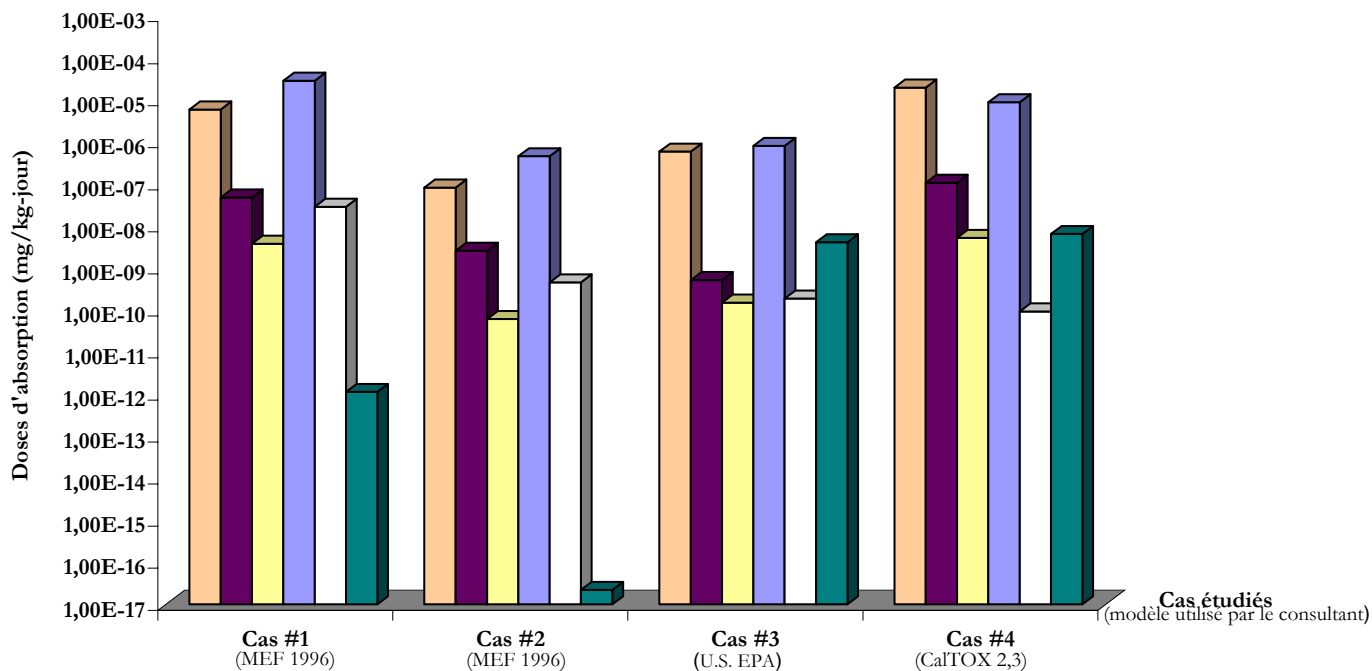
■ US EPA (1989)    □ MEF (1996)    ■ CalTOX 1,5 (1993)    □ CalTOX 2,3 (1996)    ■ CalTOX 2,3 (consultant)

Dans la figure 2, toutes les doses estimées à l'aide des différents modèles sont supérieures à celles fournies par le consultant. On observe un écart de deux ordres de grandeur entre les doses absorbées calculées à partir du modèle CalTOX 2.3 et celles obtenues par le consultant à partir du même modèle.

La divergence entre les doses calculées à partir des trois autres modèles (U.S EPA, MEF, CalTOX 1,5) et celles du consultant est notable. On observe des écarts d'au moins cinq ordres de grandeur.

**FIGURE 3**

Doses cutanées absorbées (mg/kg-jour) via le sol calculées pour l'acénaphène à l'aide des différents modèles mathématiques appliqués aux conditions d'exposition des cas étudiés



**Modèles utilisés :**

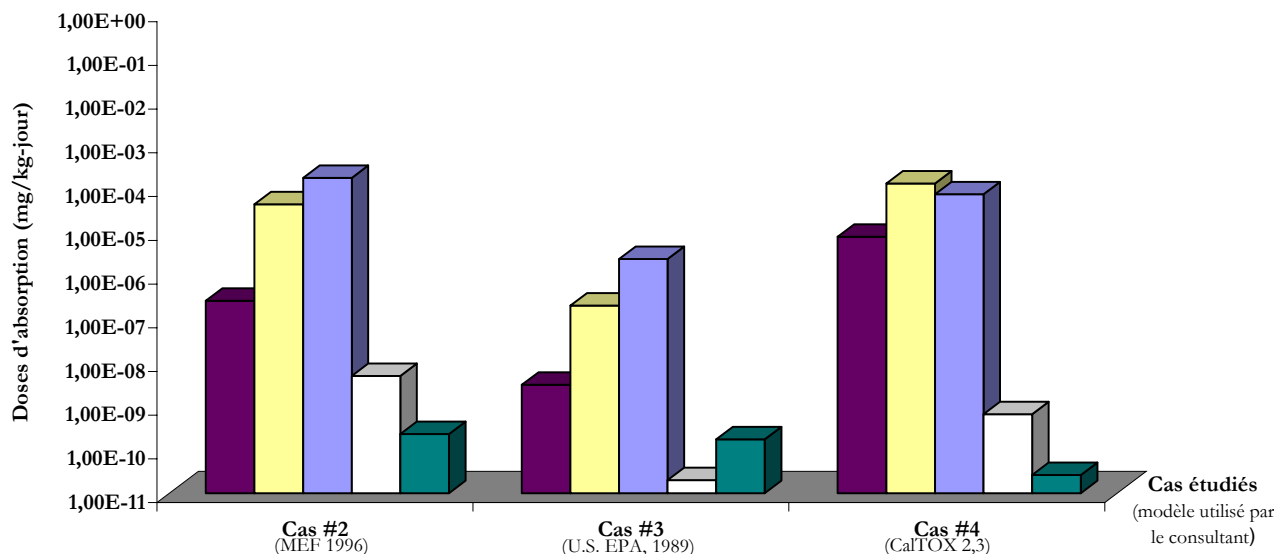
- McKone & Howd (1992)
- US EPA (1989)
- MEF (1996)
- CalTOX 1,5 (1993)
- CalTOX 2,3 (1996)
- Dose calculée par le consultant

Dans la figure 3, les doses les plus élevées ont été calculées par les modèles CalTOX 1.5 et McKone & Howd (1992). Ces deux approches présentent d'ailleurs des doses plutôt similaires. À l'instar des résultats illustrés dans la figure 1, le modèle du MEF (1996) est celui dont les doses se rapprochent le plus de celles estimées par les consultants pour les cas # 1, 2 et 4. Toujours à partir des résultats présentés dans la figure 3, on observe que de tous les consultants, les doses calculées par le consultant A

(cas # 1 et 2) sont celles qui divergent le plus des doses estimées à partir des autres modèles pour un même cas. Ceci est particulièrement observable pour le cas # 2, où l'écart minimal entre la dose calculée par rapport à celle du consultant A est de six ordres de grandeur. Le cas # 3 (consultant B) est celui présentant la plus faible variabilité entre la moyenne des doses calculées et la dose absorbée estimée par le consultant.

**FIGURE 4**

Doses cutanées absorbées (mg/kg-jour) via le sol calculées pour l'arsenic, à l'aide des différents modèles mathématiques appliqués aux conditions d'exposition des cas étudiés



**Modèles utilisés :**

■ US EPA (1989)    □ MEF (1996)    ■ CalTOX 1,5 (1993)    □ CalTOX 2,3 (1996)    ■ Dose calculée par le consultant

Dans la figure 4, le modèle CalTOX 2.3 est celui dont les doses calculées se rapprochent le plus de celles des consultants pour les cas # 2, 3 et 4. Les modèles MEF (1996) et CalTOX 1.5 estiment des doses d'absorption considérablement plus élevées par rapport à celles fournies par les consultants pour les trois cas étudiés qui sont présentés à la figure 4 ci haut. L'écart entre les doses calculées et celles du consultant pour ces deux modèles est supérieur à trois ordres de grandeur. Le cas # 3 est celui pour lequel les doses calculées se rapprochent le plus de celles présentées par le consultant. Le cas # 4 est le cas étudié comportant le plus important écart entre la moyenne des doses calculées et la dose du consultant. Les doses absorbées de ce cas ont été estimées à partir du logiciel CalTOX 2.3.

Les doses absorbées pour l'arsenic n'ont pas été estimées pour le cas # 1 puisque le consultant considère des doses additionnelles. Ainsi, lorsque la concentration du contaminant dans le sol est inférieure à la concentration de bruit de fond, la dose

absorbée est jugée nulle, ce qui est le cas de l'arsenic dans l'étude du cas # 1. Il est toutefois à noter que cette approche est non conforme aux Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS, 2002).

## DISCUSSION

Les résultats du calcul des doses absorbées à partir des différents modèles, exposés précédemment dans les figures, doivent être interprétés avec soin. Étant donné que les doses absorbées n'ont pas été mesurées, il est impossible de valider les modèles mathématiques utilisés pour estimer les doses cutanées absorbées à partir du sol. Les écarts entre les doses calculées et celles fournies par le consultant ne traduisent aucunement la validité des approches suggérées ou encore ne permettent point de conclure qu'un modèle est meilleur qu'un autre.

En soi, les équations suggérées pour estimer les doses absorbées de contaminants du sol par voie cutanée ne démontrent pas une grande différence quant aux paramètres utilisés. La plus grande différence entre les modèles consiste en l'expression définissant la fraction d'absorption. C'est également dans le choix de la valeur attribuée aux paramètres que résident les principales divergences et incertitudes. Le tableau 2 présente qualitativement l'incertitude associée aux

différents paramètres impliqués dans le calcul de la dose de contaminants du sol absorbée par voie cutanée. Selon la U.S. EPA (2004), le facteur d'adhérence du sol sur la peau et le coefficient de perméabilité cutanée à partir du sol sont les paramètres les plus incertains dans la prédiction de l'absorption cutanée des contaminants du sol.

**TABLEAU 2**

Qualification du degré d'incertitude associé aux paramètres de l'absorption cutanée au sol selon la U.S. EPA (2004)

Paramètres de l'exposition cutanée	Degré d'incertitude		
	Élevé	Moyen	Faible
Coefficient de perméabilité cutanée à partir du sol (Kp)	X		
Concentration dans le sol (Csol)	spécifique au site – dépend de la représentativité des données		
Temps d'exposition par événement (t)		X	
Surface cutanée exposée (SA)		X	
Fréquence d'exposition (FE)		X	
Facteur d'adhérence du sol sur la peau (FA)	X		
Valeur de la fraction absorption sol/peau établie par défaut et le manque de données pour certaines substances (Fabs)		X	

En ce qui concerne les doses calculées, de façon générale, celles fournies par les consultants sont inférieures aux doses obtenues lors de l'application des différentes équations servant à estimer les doses d'absorption cutanée des contaminants du sol. Mis à part le cas # 3, des écarts considérables sont observés entre les doses fournies dans les rapports des consultants et celles qui ont été calculées. Les doses calculées à partir du modèle CalTOX 2.3, pour le cas # 4, sont comparables aux doses estimées par le consultant à l'aide de ce même modèle. Cette divergence entre les doses calculées par rapport à celles des consultants est particulièrement notable pour les substances inorganiques. En effet, la majorité des doses calculées pour les substances inorganiques sont de beaucoup supérieures aux doses présentées par les consultants dans leurs rapports.

Cette différence entre les résultats est difficilement explicable compte tenu du fait que lors de l'étude des cas, les doses ont, entre autres, été calculées à partir du même modèle mathématique que celui cité par le consultant dans son rapport. De plus, les valeurs des différents paramètres servant à calculer les doses sont, de façon générale, disponibles dans les rapports. Il est vrai, qu'à l'occasion, certaines valeurs de paramètres étaient manquantes, ce qui ajoute aux incertitudes des doses calculées, et ce, même si les valeurs attribuées à ces paramètres semblaient raisonnables. Néanmoins, certains écarts observés entre les doses calculées et celles présentées par les consultants sont si importants qu'ils ne peuvent être expliqués seulement par une approximation de certains paramètres ou encore être attribuables aux incertitudes.



De par son faible nombre de paramètres, le modèle le plus simple à utiliser pour le calcul des doses absorbées est celui de la U.S. EPA (1989), pour lequel les fractions d'absorption (Fabs) ont été fixées à 1 % et 10 % respectivement pour les substances organiques et inorganiques. Toutefois, étant donné qu'on attribue aux substances de même nature (organique ou inorganique) une fraction d'absorption identique, ce modèle d'absorption cutanée ne comporte qu'un paramètre variable entre les différentes substances pour un même scénario, soit la concentration de la substance dans le sol. C'est ce qui explique qu'on observe une faible variation entre les doses calculées pour les différents contaminants de même nature, pour un même scénario. Il est difficilement concevable que la variabilité entre les doses de deux substances, aux propriétés physico-chimiques pourtant différentes, ne soit que le résultat de la différence entre les concentrations dans le sol. Il paraît donc incongru d'accorder une même fraction d'absorption à toutes les substances organiques et d'en faire de même pour les substances inorganiques. Cette faible variabilité observée, pour un même scénario d'exposition, entre les doses calculées pour différentes substances n'est toutefois pas exclusive au modèle de la U.S. EPA. En effet, ce phénomène est également observable avec le modèle de McKone & Howd (1992) et l'équation d'absorption de CalTOX 1.5 (1993). Il est à noter que l'équation de la U.S. EPA (1989) servant à estimer les doses de contaminants du sol absorbées par voie cutanée n'intègre pas de paramètres afin de tenir compte du nombre d'heures d'exposition au sol par événement. En fait, le temps d'exposition est indirectement considéré dans la fraction d'absorption. Toutefois, peu importe le nombre d'heures d'exposition par événement, la fraction d'absorption utilisée est la même, ce qui constitue une incertitude supplémentaire.

Pour une même surface d'exposition, le modèle de McKone & Howd (1992) est celui présentant les doses absorbées les plus élevées parmi tous les modèles étudiés. Ce modèle considère un grand nombre de paramètres en plus d'estimer la valeur de certains de ces paramètres à partir d'équations, ce qui implique davantage d'incertitudes. Malgré le fait

qu'il soit plus complexe et qu'il implique bon nombre de variables, le modèle de McKone & Howd (1992) possède un paramètre régissant de façon importante la dose d'absorption. Ce paramètre, qui est la quantité de sol sur la peau ( $\delta_{sol}$ ), est intégré dans le calcul du rapport de la dose absorbée et de la concentration dans le sol (ARs). En attribuant des valeurs aux différents paramètres de l'équation d'absorption, on observe que la valeur du paramètre ARs équivaut approximativement à celle de  $\delta_{sol}$ . Ceci explique le peu de variabilité observée entre les doses calculées pour les différentes substances d'un même scénario d'exposition. La concentration dans le sol est le facteur expliquant essentiellement la variabilité des doses calculées entre les différentes substances. Ceci est surprenant, de par le fait que l'approche de McKone & Howd (1992) tient compte de plusieurs variables dont les valeurs sont spécifiques aux substances. Le fait que la valeur de ARs soit égale à celle de  $\delta_{sol}$  signifie également que le temps d'exposition n'affecte point la dose absorbée. En ne faisant varier que le temps d'exposition et en ne changeant pas la valeur des autres paramètres lors de l'application du modèle au cas de contamination des sols étudiés, il a été observé que la variation du temps d'exposition n'affectait aucunement la dose d'absorption, ce qui semble difficilement concevable, à moins que la fraction absorbée soit de 100 % ou qu'elle atteigne 100 % dans un très court laps de temps.

Pour ce qui est du modèle CalTOX 1.5, aucune contre-indication n'a été relevée dans la littérature quant à son application aux substances inorganiques. Pourtant, l'équation d'absorption CalTOX 1.5 est tirée de l'approche proposée par McKone & Howd (1992) qui s'applique exclusivement aux substances organiques. Au même titre que le modèle de McKone & Howd (1992), pour un même scénario, la variabilité entre les doses absorbées calculées pour la voie cutanée dépendra de la concentration du contaminant dans le sol. Dans le modèle CalTOX 1.5, la valeur que prend le paramètre ARs (rapport de la dose absorbée et de la concentration dans le sol) est essentiellement déterminée par l'épaisseur de sol sur la peau ( $\delta_{sl}$ ). Une fois les valeurs attribuées aux différents paramètres de l'équation d'absorption, on

note que le temps d'exposition n'influence aucunement la dose absorbée estimée pour les substances organiques comme si la fraction d'absorption était de 100 %. Toutefois, on constate un effet de la variation du temps d'exposition sur les doses estimées pour les substances inorganiques. L'équation figurant dans ce document, pour les versions 2.3 et 4.0 du modèle CalTOX, a été extraite des versions de démonstration du logiciel, téléchargées du site web officiel de l'Agence de protection de l'environnement de la Californie (CalEPA). Dans ce modèle, les expositions aux contaminants à l'intérieur et à l'extérieur de la maison sont considérées dans l'estimation de la dose absorbée. La compréhension de ce modèle est limitée de par le fait qu'aucun document explicatif pour les versions 2.3 et 4.0 n'a été publié. Il est difficilement explicable que la concentration du contaminant dans le sol soit divisée de moitié afin d'estimer la dose absorbée par voie cutanée. De plus, plutôt que de diviser de moitié la concentration du contaminant dans le sol et de tenir compte de la moyenne des temps d'exposition intérieur et extérieur présents dans la fonction exponentielle définissant la fraction d'absorption, la dose absorbée devrait être estimée par la somme des doses absorbées pour l'exposition à l'intérieur et à l'extérieur.

Le modèle détaillé dans le guide du MEF (1996) est en fait un modèle suggéré par la U.S. EPA où la fraction d'absorption est calculée à partir du coefficient de perméabilité cutanée, plutôt que d'être fixée comme c'est le cas pour le modèle de la U.S. EPA (1989). Sans être aussi complexe que celui proposé par Mckone & Howd (1992), ce modèle tient compte de variables propres aux substances, telles que la volatilité et l'adsorption au sol, dans le calcul de la dose cutanée absorbée. Ceci explique le fait qu'on observe une certaine variabilité entre les doses calculées pour les diverses substances, contrairement aux autres modèles dont il a été question précédemment. À l'instar du modèle de McKone & Howd (1992) et de CalTOX 1.5, les doses calculées à partir du modèle du MEF (1996) pour les substances organiques ne varient point en fonction du temps d'exposition selon les données

utilisées, comme si la fraction d'absorption était de 100 %. Le modèle du MEF (1996) s'applique également aux substances inorganiques, bien que les doses calculées pour ces substances soient considérablement élevées par rapport à celles fournies par les consultants (figures 2 et 4).

## CONCLUSION

---

À la lumière des résultats obtenus, le manque de transparence dans la démarche d'évaluation de l'exposition et les valeurs utilisées par les consultants expliquent en grande partie la différence entre les doses fournies par les consultants et celles qui ont été calculées à partir des mêmes équations. Quant à la variabilité observée entre les différents modèles d'absorption cutanée à partir du sol, elle est en grande partie attribuable à l'expression du paramètre de la fraction d'absorption pour une même concentration dans le sol. Il s'avère difficile de conclure quant à la présence d'un modèle étant donné que les valeurs réelles des doses d'absorption cutanée à partir du sol étaient inconnues dans les cas étudiés. Néanmoins, en regard de l'utilisation des modèles ainsi que des résultats obtenus lors de l'exercice de calcul des doses, le choix d'un modèle se doit de considérer les faits suivants :

- le peu de variables utilisées dans les modèles de la U.S. EPA (1989) et de CalTOX 1.5;
- la valeur du paramètre ARs qui est égale à la valeur des paramètres  $\delta_{sol}$  et  $\delta_l$  respectivement dans les modèles de McKone & Howd (1992) et de CalTOX 1.5;
- l'incertitude associée au fait qu'une même valeur de fraction d'absorption soit attribuée aux substances de même nature (inorganique ou organique) dans le modèle de la U.S. EPA (1989);
- la complexité des équations servant à estimer certains paramètres dans le modèle de McKone & Howd (1992), en plus des incertitudes qui leur sont rattachées;
- le fait que la variation du temps d'exposition, paramètre présent dans l'équation servant à estimer les doses absorbées par voie cutanée pour

les modèles CalTOX 1.5, MEF (1996) et McKone & Howd (1992), n'influence point les doses absorbées calculées pour les substances organiques.

Le modèle de la U.S. EPA (1989) présente pour avantage un faible nombre de paramètres à considérer, ce qui rend ce modèle facile à utiliser. Les équations de la U.S. EPA (1989) ont d'ailleurs été utilisées dans l'élaboration du modèle ERT de l'Institut national de santé publique du Québec, ce qui paraît un choix raisonnable et justifié. Toutefois, afin de rendre le modèle de la U.S. EPA (1989) davantage approprié, il serait souhaitable que la valeur attribuée à la fraction d'absorption ne soit pas identique pour toutes les substances organiques ou inorganiques. C'est d'ailleurs ce que préconise le MEF (1996), de par son équation d'absorption cutanée basée sur celle de la U.S. EPA, où la fraction d'absorption est exprimée à partir du coefficient de perméabilité propre à chaque contaminant. Considérant que cette approche n'est toujours pas validée, la valeur de la fraction d'absorption spécifique à chaque substance devrait, à priori, être tirée des valeurs de la littérature, tel que le suggère la U.S. EPA (2004). Il est à noter qu'une incertitude est liée à l'utilisation de valeurs de fractions d'absorption tirées de la littérature. Ces dernières proviennent de valeurs mesurées expérimentalement, généralement sur une période d'exposition de 24 heures. L'emploi d'une valeur de fraction d'absorption tirée de la littérature implique qu'on assume que le temps d'exposition du cas étudié est le même que celui duquel découle la valeur expérimentale de la fraction d'absorption (U.S. EPA, 2004).

À ce jour, aucun modèle d'absorption cutanée des contaminants du sol n'a encore été adéquatement validé et les données de la littérature concernant l'absorption cutanée et ses paramètres demeurent incomplètes. Bien que des auteurs aient proposé des modèles théoriques très développés pour estimer les doses d'absorption, les modèles restent, par définition, incertains. Il faut donc demeurer prudent dans l'interprétation et l'utilisation de résultats provenant de tels modèles.

## RÉFÉRENCES

- California Environmental Protection Agency (CalEPA). CalTOX, a multimedia total exposure model for hazardous waste sites, part III: The multiple pathway exposure model [monographie sur Internet]. Sacramento (CA): The office of scientific affairs, Department of toxic substance control, California Environmental Protection Agency; 1993 [consultée le 7 novembre 2005]. Disponible : <http://www.dtsc.ca.gov/ScienceTechnology/ftp/techman3.pdf>. URL:
- Duff, RM et JC Kissel. Effect of Soil Loading on Dermal Absorption Efficiency from Contaminated Soils. *J. Tox. and Environ. Health* 1996; 48:93-106.
- Durkin, PR, L Rubin, J Withey et W Meylan. Methods of assessing dermal absorption with emphasis on uptake from contaminated vegetation. *Toxicology and Industrial Health* 1995;11:63-79.
- Kissel J et R Fenske. Improved estimation of dermal pesticide dose to agricultural workers upon reentry. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2000; 15:284-290.
- McKone, TE et RA Howd. Estimating dermal uptake of nonionic organic chemicals from water and soil: I. Unified fugacity-based models for risk assessments. *Risk analysis* 1992; 12(4):543-557.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF). Guide technique pour la réalisation des analyses préliminaires des risques toxicologiques. Québec : Groupe d'analyse de risque, Direction des laboratoires, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec; 1996.
- Ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec (MSSS). Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine. Gouvernement du Québec; 2002.

- OEHHA. Dermal exposure assessment. Dans : Technical Support Document for Exposure Assessment and Stochastic Analysis [monographie sur Internet]. Oakland (CA): California Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Protection Agency; 2000 [consultée le 20 juin 2005].

Disponible : URL : [http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/pdf/chap6.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/chap6.pdf).

- OEHHA. Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines: The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments [monographie sur Internet]. Oakland (CA): Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Protection Agency; 2003 [consultée le 20 juin 2005]. Disponible : URL : [http://www.oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/pdf/HRAfinalnoapp.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/HRAfinalnoapp.pdf), (consultée le 20 juin 2005).
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I - Human Health Evaluation Manual (Pt A). Washington, D.C.; 1989. Rapport no. : EPA/540/1-89/002.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Dermal exposure assessment: Principles and applications. Washington, DC:

Office of Health and Environment Assessment, U.S. Environmental Protection Agency; 1992. Rapport no. : EPA/600/891/011B.

- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Assessing dermal exposure from soil. Region III. Technical guidance manual risk assessment. Office of Superfund, Region III, Hazardous Waste Management Division; 1995. Rapport no. : EPA-903-K-95-003.
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Pt E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment). Washington, DC: Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, U.S. Environmental Protection Agency; 2004. Rapport no. : EPA/540/R/99/005.
- Valcke, M et M Beausoleil. Guide d'utilisation de l'outil d'estimation des doses d'exposition et des risques toxicologiques. Montréal : Institut national de santé publique du Québec; 2004.
- Versar inc. 1997. Draft: Standard Operating Procedures (SOPs) for Residential Exposure Assessment. Office of Pesticides Programs, Health Effects Division; 1997.

**REVUE ET ÉVALUATION DES MODÈLES  
D'ESTIMATION DE L'ABSORPTION  
CUTANÉE DES CONTAMINANTS DU SOL  
RAPPORT SYNTHÈSE – JUILLET 2006**

**Auteurs :**

Stéphane Buteau, M. Sc.,  
Institut national de santé publique du Québec

**Collaborateurs :**

Mathieu Valcke, M. Env., M. Sc.,  
Institut national de santé publique du Québec  
Denis Belleville, M.D., M. Sc.,  
Institut national de santé publique du Québec

*Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.*

*Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : [droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca](mailto:droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca).*

*Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.*

Dépôt légal – 2<sup>e</sup> trimestre 2007  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
Bibliothèque et Archives Canada  
ISBN 13 : 978-2-550-49526-0 (version imprimée)  
ISBN 13 : 978-2-550-49527-7 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2007)

**Institut national  
de santé publique**

**Québec** 