



## Sommaire

Les répercussions possibles des lieux contaminés sur la santé de la population et des écosystèmes suscitent de vives inquiétudes. On trouve des lieux contaminés dans toutes les provinces et tous les territoires du Canada, de même que sur des terres de propriété fédérale. Il peut donc être utile d'élaborer divers outils d'évaluation des dangers et risques relatifs que présentent différents lieux afin de déterminer les priorités en matière d'assainissement. Le Système national de classification des lieux contaminés (SNCLC) fournit une méthode, ou un outil de criblage, d'évaluation et de classification des lieux contaminés (CCME, 1992; CCME, 2007 – version préliminaire). Les sites sont classifiés sous le SNCLC en utilisant la contamination connue et les possibilités d'exposition de divers récepteurs. L'indice de qualité des sols (IQSo) est un outil complémentaire qui vise principalement à évaluer le danger relatif en comparant les concentrations de contaminants avec les recommandations pertinentes en matière de qualité des sols. Parmi les avantages de l'IQSo, mentionnons qu'il est relativement simple et facile d'utilisation, et moins subjectif que le SNCLC.

La méthode qui est proposée pour la détermination de l'IQSo se fonde sur trois facteurs, à savoir : 1) l'étendue (% de contaminants dont les concentrations ne sont pas conformes aux recommandations applicables), 2) la fréquence (% des résultats d'analyse des contaminants individuels qui ne sont pas conformes aux recommandations applicables), 3) l'amplitude (l'écart entre les résultats d'analyse non conformes et les valeurs recommandées pour chacun des contaminants). L'IQSo proposé peut être utilisé pour comparer différents lieux contaminés par des substances analogues, et pour vérifier si les concentrations de contaminants, après l'assainissement des sols d'un site donné, sont conformes aux exigences fixées par les autorités compétentes.

Les éléments indispensables pour le calcul de l'IQSo de lieux contaminés comprennent les suivants : le choix des contaminants concernés, les concentrations mesurées de tous les contaminants pertinents au site, et les recommandations de qualité des sols établis à leur égard. Il faut également disposer d'autres données sur le

lieu visé afin de choisir les recommandations et les récepteurs appropriés. L'IQSo fournit une évaluation quantitative des lieux contaminés; sa valeur finale est comprise entre 0 et 100. À partir des valeurs finales de l'IQSo, on peut ranger les lieux contaminés dans cinq catégories, en fonction du degré de préoccupation qu'ils suscitent au chapitre de la santé humaine ou des écosystèmes. Les catégories proposées sont les suivantes : très faiblement préoccupant (90-100), faiblement préoccupant (70-90), moyennement préoccupant (50-70), fortement préoccupant (30-50) et très fortement préoccupant (0-30).

On peut raffiner la classification d'un lieu contaminé en déterminant les contaminants dont les concentrations dépassent les objectifs et en résumant les mesures d'assainissement requises ainsi que les solutions envisageables pour la gestion des sols. On donne un exemple s'appuyant sur les données réelles recueillies à un site contaminé afin d'illustrer la façon de calculer et d'utiliser l'IQSo proposé. Un modèle sur chiffrier électronique, ou calculateur d'indice, permettant de déterminer l'IQSo de lieux contaminés est offert sur le site [www.ccme.ca](http://www.ccme.ca).

## Introduction

Partout au Canada, les lieux contaminés et leurs effets potentiels sur la santé des écosystèmes et la santé humaine suscitent depuis longtemps de grandes inquiétudes. En avril 1990, un atelier multilatéral (atelier de consultation sur les lieux contaminés du CCME) a réuni des représentants de l'État, de l'industrie et du public. Les participants à cet atelier ont convenu de la nécessité d'élaborer un système pour classer ou évaluer les lieux contaminés, recommandant que ce système soit relativement simple et puisse s'appliquer à tous les lieux contaminés au Canada. L'atelier a mené à la création du Système national de classification des lieux contaminés (SNCLC) pour les sites se trouvant au Canada (CCME, 1992). Par la suite, soit en 2003, une version révisée du SNCLC visant spécifiquement les lieux contaminés de propriété fédérale a été élaborée (Environnement Canada, 2003). Ce système devait servir spécialement à classer les lieux contaminés et à établir les priorités générales en matière

d'assainissement de ces sites. Le système trie les sites en fonction de la nécessité d'appliquer des mesures plus poussées pour protéger la santé de la population et des écosystèmes.

Le but principal du Système national de classification des lieux contaminés est d'évaluer les dangers potentiels que présente un lieu donné en attribuant un pointage à diverses caractéristiques qui peuvent être regroupées suivant leur appartenance à l'une de trois catégories, à savoir les caractéristiques des contaminants, les voies d'exposition et les récepteurs qui peuvent être exposés à des contaminants ou en subir les effets. Le système évalue les sites en leur attribuant un pointage sur une échelle de 0 à 100. Un résultat élevé signifie que le lieu en question présente des risques importants d'effets néfastes. Ce système n'a pas pour but de fournir une évaluation quantitative des risques mais plutôt de trier les sites en fonction de la nécessité d'appliquer des mesures plus poussées pour protéger la santé de la population et des écosystèmes. Comme il est fondé sur une échelle numérique, certaines personnes l'utilisent comme outil d'évaluation non seulement qualitative, mais aussi quantitative.

Récemment, le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des sols (GTRQS) du CCME a révisé le Système national de classification des lieux contaminés, établi en 1992. Le Groupe a formulé de nombreuses recommandations pour rendre le système moins subjectif et élargir son champ d'application à un plus vaste éventail de conditions locales. Un système de classification révisé est en voie d'élaboration.

L'indice de qualité des sols (IQSo) diffère du SNCLC à divers égards, ce qui en fait un outil complémentaire très utile pour l'évaluation initiale des lieux contaminés. Le SNCLC considère l'incidence éventuelle du pire parmi les contaminants présents dans un site donné, alors que l'IQSo évalue de façon globale les effets possibles de tous les contaminants concernés. Le risque de subjectivité est beaucoup plus faible si le classement d'un site est fondé sur l'IQSo plutôt que sur le SNCLC, car l'IQSo est entièrement déterminé à partir de données analytiques, l'utilisateur n'intervenant que dans le choix des contaminants pertinents et des recommandations appropriées. Le champ d'application du SNCLC est plus large puisqu'il tient compte aussi de l'évaluation des risques de migration future des contaminants à partir du site, et les risques d'exposition d'un éventail plus large de récepteurs. En revanche, l'IQSo n'évalue que l'étendue actuelle de la contamination et les

dépassements par rapport aux recommandations en matière de qualité des sols. L'IQSo est donc relativement simple et facile d'utilisation.

Il faut toujours garder en tête les limites de l'IQSo quand on l'utilise. Cet indice possède, entre autres avantages, ceux de permettre la combinaison de diverses mesures pour générer une seule valeur, et de faciliter la communication des résultats. L'IQSo ne peut remplacer une analyse détaillée des données de surveillance de l'environnement, et il ne doit pas non plus servir de seul outil de gestion des lieux contaminés. Cependant, il peut fournir un aperçu général de la qualité de l'environnement dans divers lieux contaminés comme point de départ à l'établissement des priorités en ce qui concerne l'évaluation plus poussée ou l'assainissement des sites.

### **Contexte – Indices similaires existants au Canada**

L'indice de qualité des sols proposé a été mis au point suivant une démarche similaire à celle qui a été utilisée pour définir l'indice de qualité des eaux du CCME (2001) et un indice de qualité des sédiments (Grapentine *et al.*, 2002; Marvin *et al.*, 2004). Avant la création de l'indice de qualité des eaux du CCME, les diverses autorités canadiennes utilisaient différents types d'indices pour évaluer la qualité de l'eau. Le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux, qui relève du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), a formé en 1997 un sous-comité technique chargé d'évaluer les différentes méthodologies et d'élaborer un indice pouvant être utilisé pour simplifier la communication des résultats relatifs à la qualité de l'eau au Canada. Après l'examen des méthodologies adoptées par le Québec (Hébert, 1996), la Colombie-Britannique (Rocchini et Swain, 1995) et l'Alberta (Wright *et al.*, 1999), le sous-comité technique a retenu le modèle conceptuel de la Colombie-Britannique et a établi l'indice dans sa forme finale.

L'indice de qualité des sols proposé est un outil quantitatif qui permet d'évaluer et de classer les lieux contaminés. Il peut servir à communiquer des données complexes sous une forme facilement compréhensible. L'indice peut également servir à comparer l'état des lieux avant et après l'application des mesures d'assainissement, et à déterminer si les exigences des

autorités compétentes ont été respectées pour un lieu donné.

### **Élaboration de l'indice de qualité des sols du CCME**

Les éléments essentiels pour pouvoir utiliser cet indice comme outil d'évaluation et de classement d'un lieu contaminé sont les suivants :

- 1) choix des contaminants concernés;
- 2) échantillonnage et analyse des contaminants;
- 3) données d'évaluation du lieu;
- 4) recommandations pour la qualité des sols.

#### *Choix des contaminants concernés*

Le choix des contaminants concernés est un facteur déterminant dans le calcul de l'indice de qualité des sols. Ce choix se fonde principalement sur les critères suivants :

1. les contaminants choisis doivent avoir un certain lien avec le type de contamination survenue ou les substances chimiques utilisées dans le cadre des activités industrielles antérieurement menées au site;
2. il faut inclure les sous-produits connus ou attendus des contaminants, s'il y a lieu;
3. les contaminants choisis doivent être visés par des recommandations ou normes pour la qualité du sol.

Il serait difficile de proposer une liste générale des contaminants pour les lieux contaminés en raison de la grande variabilité du nombre et des types de contaminants présents selon l'industrie en place ou le déversement survenu au site.

Par exemple, les lieux contaminés par des hydrocarbures pétroliers (HCP) peuvent receler au moins quatre fractions de HCP (fraction F1 : C6 à C10; F2 : C10 à C16; F3 : C16 à C34 et F4 : C34 et plus), du benzène, du toluène, de l'éthylbenzène, des xylènes et du plomb. Dans les lieux contaminés par des métaux ou des pesticides, on trouvera tous les métaux ou pesticides respectivement déversés ou utilisés sur le site dans le cadre des activités d'exploitation. On pourra également devoir s'occuper de certains de leurs sous-produits, s'ils représentent des sources de préoccupation pour la santé de la population ou de l'environnement. Les lieux contaminés par des métaux radioactifs ou autres sont susceptibles de receler des métaux importants en plus de ceux extraits comme impuretés, de leurs sous-produits

et des substances chimiques utilisées pour leur transformation.

L'analyse de sensibilité de l'IQSo (Gartner Lee Ltd, 2006) a démontré que la valeur moyenne ainsi que la variabilité de l'indice augmentent à mesure que diminue le nombre de contaminants étudiés. En général, on devrait inclure au moins quatre contaminants dans le calcul de l'indice de qualité des sols pour le classement d'un lieu contaminé. Cependant, si un site n'est contaminé que par une ou deux substances, on peut tout de même calculer l'IQSo avec moins de quatre contaminants, mais il faut alors user de prudence dans l'interprétation des résultats, et ne pas faire de comparaison avec des sites touchés par un plus grand nombre de contaminants.

L'échantillonnage des sites présentant les mêmes problèmes de contamination et dont on veut comparer directement l'IQSo doit viser les mêmes paramètres. En outre, l'analyse de sensibilité faite par Gartner Lee Ltd. (2006) semble indiquer qu'il ne faut pas exclure les principaux contaminants du site aux fins du calcul de l'IQSo.

Le nombre total de contaminants choisis est très important pour la validité des résultats obtenus grâce à l'indice. La situation dépeinte en choisissant un petit nombre de contaminants pour lesquelles les résultats ne sont pas conformes aux recommandations sera bien différente de celle qui aurait été décrite grâce au choix d'un grand nombre de contaminants dont la plupart satisfont aux recommandations établies.

Afin d'éviter l'usage impropre de cet outil, l'utilisateur, et l'officier de réglementation, doit s'assurer que les conseils en choisissant le nombre et le type appropriés de contaminants sont suivis en calculant l'indice de la qualité des sols. L'ommission d'inclure les contaminants appropriés dans le calcul, ou inversement, la surcharge du calcul avec des données sur les substances non pertinentes à un site, peuvent biaiser les résultats d'indice et affecter la capacité de faire des comparaisons justes et appropriées des points parmi des sites.

#### *Échantillonnage et analyse des contaminants*

Il est nécessaire d'avoir en main des données analytiques sur les concentrations de tous les contaminants concernés, données tirées de nombreux échantillons de sol prélevés sur le site. Idéalement, ces

échantillons doivent être recueillis en divers points (sur le plan horizontal) et à différentes profondeurs du sol (sur le plan vertical) afin qu'ils reflètent l'étendue et la distribution de la contamination. On trouvera les méthodes recommandées pour le prélèvement d'échantillons de sol et l'analyse des contaminants dans les volumes I et II du *Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés* (CCME, 1993a, b).

Le nombre total d'échantillons de sol dépend du degré de précision requis; les points d'échantillonnage (horizontal et vertical) dans le lieu contaminé devraient être choisis en fonction de la mobilité des divers contaminants et de l'historique de contamination du site. L'utilisateur doit recourir à son jugement professionnel lorsqu'il s'agit de choisir le nombre de points d'échantillonnage et leur profondeur dans le sol, le nombre de contaminants, et le nombre total de prélèvements de sol à inclure dans les analyses chimiques destinées au calcul de l'indice de qualité des sols.

#### *Données d'évaluation du lieu*

D'autres données sur les caractéristiques du lieu contaminé sont également nécessaires, surtout dans le cas des contaminants liquides ou très mobiles. Parmi les variables sur lesquelles il convient de recueillir des données, mentionnons les suivantes : texture du sol, utilisations présentes et futures du terrain, conductivité hydraulique, distance des bâtiments et des sources d'eau de surface à proximité, et profondeur de la nappe phréatique.

Par exemple, les utilisations présentes et futures du terrain ainsi que la texture du sol sont utiles pour le choix des recommandations appropriées, et l'information sur la distance séparant le site des bâtiments et des plans d'eau de surface avoisinants aidera à déterminer les voies d'exposition et les récepteurs pertinents au 2<sup>e</sup> palier, s'il y a lieu. De même, la conductivité hydraulique, la texture du sol dans la couche imperméable et la profondeur de la nappe phréatique aideront à mettre en évidence toute répercussion éventuelle sur les sources d'eau souterraines près du site. Ces renseignements peuvent également servir à élaborer, au besoin, des recommandations pour la qualité des sols, qui seraient nécessaires dans un site donné au 2<sup>e</sup> palier.

#### *Recommandations pour la qualité des sols*

On ne saurait trop insister sur le rôle des recommandations pour la qualité des sols dans le succès de l'application de l'IQSo et de la diffusion des résultats correspondants. L'efficacité de l'IQSo à « noter » avec justesse la qualité des sols dans les lieux contaminés et le degré de préoccupation pour la santé de la population et des écosystèmes est directement liée au choix des recommandations appropriées comme référence pour la comparaison des données de surveillance. Le principal facteur à prendre en compte la pertinence, à l'échelle locale, des recommandations utilisées pour le calcul de l'IQSo, c'est-à-dire la mesure dans laquelle elles concordent avec l'assemblage d'espèces, le fond géochimique naturel et les caractéristiques du sol, notamment la teneur en carbone organique, la granulométrie, le pH et le potentiel d'oxydoréduction, qui peuvent influencer sur la toxicité de certaines substances chimiques préoccupantes.

Ces recommandations peuvent être tirées de sources nationales, provinciales/territoriales ou propres au site, en autant qu'elles soient applicables aux conditions locales. Par exemple, des recommandations nationales seront probablement pertinentes localement si la toxicité de la substance ne dépend pas du pH ou du potentiel d'oxydoréduction, ou si ces recommandations nationales peuvent être adaptées facilement grâce à une équation ou à un modèle existants pour refléter l'effet du pH ou du potentiel d'oxydoréduction sur la toxicité. Pour les substances et les sites auxquels les recommandations nationales ou autres objectifs génériques ou provinciaux ne peuvent s'appliquer, il faudra élaborer des valeurs de référence propres au site à partir d'évaluations du site et d'analyses de la toxicité sur place. Par exemple, les valeurs déterminées à l'échelle nationale pour les substances présentes naturellement dans l'environnement (métaux, etc.) ne seront probablement pas appropriées si les concentrations locales naturelles sont élevées ou si des espèces sensibles ou préoccupantes dont il faut tenir compte sont présentes localement.

On trouvera ci-dessous certains critères pour le choix des recommandations appropriées.

Dans le cas des hydrocarbures pétroliers, deux scénarios peuvent s'appliquer lors du choix des recommandations ou normes aux fins du calcul de l'IQSo.

1. Scénario du 1<sup>er</sup> palier : s'applique lorsque la contamination est relativement faible et que l'on peut assainir le site de façon économique et pratique pour le ramener aux valeurs minimales fixées pour tous les récepteurs possibles, au chapitre de la santé tant humaine qu'écologique. Dans ce cas, les résultats d'analyse des sols peuvent être comparés directement avec les valeurs de référence du 1<sup>er</sup> palier qui sont fournies dans le *Standard pancanadien relatif aux hydrocarbures pétroliers (HCP) dans le sol* (CCME, 2001a).
2. Scénario du 2<sup>e</sup> palier : Scénario utilisé lorsque la contamination est relativement étendue et qu'on ne peut assainir le site de façon pratique ou économique pour le ramener aux valeurs minimales fixées pour tous les récepteurs possibles, au chapitre de la santé tant humaine qu'écologique. De plus, il va de soi que certaines des voies d'exposition ne seront pas pertinentes vu l'emplacement, l'utilisation ou la géologie du terrain en question. Dans ce cas, une méthode du 2<sup>e</sup> palier devrait être utilisée pour élaborer des recommandations propres au site, conformément au document CCME (2001a).

De la même façon, pour d'autres types de contaminants, les concentrations peuvent être comparées directement avec les recommandations existantes en matière de qualité des sols (c'est-à-dire les valeurs de référence du palier 1), ou une méthode du 2<sup>e</sup> palier peut être utilisée pour établir des seuils propres au site, s'il y a lieu.

Suivant le 1<sup>er</sup> palier, l'indice de qualité des sols devrait être calculé en fonction des normes les plus strictes pour tous les récepteurs et voies d'exposition applicables à une utilisation donnée du terrain. Selon le scénario du 2<sup>e</sup> palier, les voies d'exposition qui ne sont pas pertinentes pour le lieu contaminé seront écartées, et les normes les plus rigoureuses pour toutes les voies d'exposition et récepteurs applicables seront utilisées; sinon, des recommandations modifiées seront élaborées si requis à partir des données locales et des modèles dont on dispose (CCME, 2001b).

Le CCME (2003) a mis au point un modèle sur chiffrier électronique permettant de déterminer, suivant les 2 scénarios, quelles sont les recommandations les plus rigoureuses pour les hydrocarbures pétroliers. Ce modèle peut être actualisé à tout moment dans l'avenir en cas de modifications importantes aux recommandations approuvées par le CCME.

Des recommandations pour la qualité des sols en fonction de la santé humaine et de l'environnement existent généralement pour la plupart des contaminants dans les quatre catégories d'utilisation des terres, à savoir agricole, résidentielle/parc, commerciale et industrielle. Les recommandations pour la protection de la santé humaine sont subdivisées suivant différentes voies d'exposition, soit l'ingestion de sol (et/ou l'inhalation de particules et le contact cutané); l'eau potable; l'inhalation de vapeurs à l'intérieur; la migration hors site; la consommation de produits, de viande et de lait. De même, les recommandations pour la protection de l'environnement se subdivisent ainsi : contact direct avec le sol; ingestion de sol et de nourriture; cycle des substances nutritives et de l'énergie; eau souterraine (vie aquatique, irrigation et/ou abreuvement du bétail); migration hors-site. Pour bien des contaminants, il n'existe pas de recommandations pour la qualité des sols correspondant à toutes les voies d'exposition mentionnées ci-dessus, soit à cause du manque de données scientifiques, soit parce que la voie d'exposition en question n'est pas pertinente pour un contaminant particulier.

Compte tenu des recommandations pour la qualité des sols dont on dispose, l'IQSo pour la protection de la santé humaine et l'IQSo pour la protection de l'environnement peuvent être assez facilement calculés de manière distincte, au besoin. De plus, l'indice peut être calculé pour une utilisation précise du terrain, ou peut être raffiné en privilégiant la voie d'exposition ou le récepteur assortis de la recommandation la plus stricte. La valeur finale de l'indice de qualité des sols et la catégorie dans laquelle est classé un site varieront grandement en fonction des recommandations retenues pour un lieu contaminé donné. Si les informations de base requises pour l'évaluation des différentes voies d'exposition et des récepteurs envisageables à un site contaminé donné existent (ou peuvent être obtenues), on recommande d'évaluer tous les récepteurs et voies d'exposition possibles et d'utiliser les recommandations les plus strictes pour la qualité des sols, parmi les voies d'exposition et les récepteurs applicables.

Le choix des recommandations dépend également de l'utilisation future du secteur visé. Les recommandations pour le calcul de l'IQSo devraient être choisies d'abord en fonction de l'utilisation future (agricole, résidentielle/parc, commerciale ou industrielle) des terres, puis de la texture du sol et des récepteurs pertinents, au besoin.

En 1999, le CCME a publié des recommandations canadiennes pour la qualité des sols concernant environ 70 substances chimiques. On peut obtenir plus de détails sur les recommandations pour la qualité des sols visant divers contaminants au chapitre 7 des *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine* (1999). Les valeurs recommandées sont également présentées sous forme de tableaux sommaires affichés dans le site Web du CCME, à l'adresse [http://www.ccme.ca/publications/ceqg\\_rcqe.fr.html?category\\_id=124](http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.fr.html?category_id=124). On peut aussi trouver de l'information sur le *Standard pancanadien relatif aux hydrocarbures pétroliers (HCP)* sur le site [http://www.ccme.ca/ourwork/soil.fr.html?category\\_id=43](http://www.ccme.ca/ourwork/soil.fr.html?category_id=43). Ces recommandations concernent les quatre utilisations des terres (agricole, résidentielle/parc, commerciale et industrielle) et divers récepteurs en matière de santé humaine et écologique. Certaines provinces canadiennes ont élaboré et utilisent leurs propres normes d'échelle provinciale, ou bien des objectifs propres aux sites (Québec, Ontario, Alberta, Colombie-Britannique, etc.), tandis que d'autres ont adopté les recommandations du CCME telles quelles ou les ont modifiées en fonction des concentrations de fond et d'autres conditions locales particulières.

Divers États américains ont mis au point des recommandations ou des normes pour la qualité des sols visant plus de 200 substances chimiques, ceci en se fondant sur les lignes directrices générales de l'EPA des États-Unis. Par exemple, on peut consulter les recommandations pour la qualité des sols élaborées par le Department for Environmental Quality du Michigan en 2004, qui se trouvent sur leur site Web, à l'adresse <http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-rrd-part201-rules-Rule746Table.pdf>. Si des recommandations n'existent pas au Canada pour une substance en particulier, les recommandations américaines pourraient être considérées pour le calcul de l'indice de qualité du sol. Il faut toutefois exercer une certaine prudence car les recommandations élaborées aux États-Unis utilisent des démarches différentes et peuvent également différer quant au degré de protection qu'elles offrent en comparaison avec les recommandations canadiennes pour la qualité du sol. Des recommandations pour la qualité des sols ont aussi été publiées par divers pays d'Europe, et on peut s'y référer au besoin.

Il est toujours préférable d'utiliser des recommandations pour la qualité des sols qui sont propres aux sites, si elles existent, mais en leur absence, on recommande

d'avoir recours aux normes provinciales ou nationales à cet égard. Si une autorité donnée n'a pas fixé de recommandations pour tous les contaminants préoccupants présents à un site, on peut envisager de combiner les recommandations de diverses sources mais, dans ce cas, il faut privilégier des objectifs calculés suivant des méthodes et des degrés de protection comparables. Le calculateur d'indice (accessible sur le site [www.ccme.ca](http://www.ccme.ca)) utilise par défaut les valeurs des Recommandations canadiennes pour la qualité des sols, mais l'utilisateur peut fournir d'autres recommandations à l'outil, si nécessaire.

### **Établissement de l'indice de qualité des sols du CCME**

L'IQSo pour les lieux contaminés a été mis au point à partir de trois facteurs, à savoir : F1 (étendue), F2 (fréquence) et F3 (amplitude). Ces facteurs et les équations utilisées pour le calcul de l'indice sont décrits brièvement ci-dessous.

#### ***F1 (étendue)***

Le facteur F1 (comme calculé dans l'équation 1) représente le pourcentage de contaminants dont les concentrations ne sont pas conformes à la recommandation pertinente (contaminants non conformes) par rapport au nombre total de contaminants qui ont été mesurés (et inclus dans le calcul de l'ISQo) au site.

$$F_1 = \frac{\text{Nombre de contaminants non conformes}}{\text{Nombre total de contaminants}} \times 100 \dots (1)$$

#### ***F2 (fréquence)***

Le facteur F2 (équation 2) représente le pourcentage d'essais individuels dont les résultats ne sont pas conformes à la recommandation pertinente (résultats non conformes).

$$F_2 = \frac{\text{Nombre de résultats non conformes}}{\text{Nombre total de résultats}} \times 100 \dots (2)$$

#### ***F3 (amplitude)***

Le facteur F3 (équation 5) représente la marge entre les résultats non conformes et la recommandation correspondante (coefficient d'écart par rapport à la

valeur recommandée). La relation entre F3 et la marge séparant les concentrations de contaminants mesurées et les recommandations est décrite dans Wright *et al.* (1999). Le calcul de F3 se fait en trois étapes (voir ci-dessous).

Étape 1. Calculer le coefficient d'écart de tous les résultats d'essais formant l'ensemble de données.

Quand la concentration d'un contaminant donné est supérieure (ou inférieure, quand l'objectif représente un seuil minimal) à la recommandation pour la qualité des sols, on a ce que l'on appelle un écart. Le coefficient d'écart de chaque essai est calculé comme suit :

Quand le résultat de l'essai ne doit pas dépasser la recommandation :

$$\text{Coefficient d'écart}_i = \frac{\text{Résultat non conforme}_i}{\text{Objectif}_i} - 1 \dots (3a)$$

Dans les cas où le résultat de l'essai ne doit pas être inférieur à la valeur recommandée :

$$\text{Coefficient d'écart}_i = \frac{\text{Objectif}_i}{\text{Résultat non conforme}_i} - 1 \dots (3b)$$

Étape 2. Calculer la somme moyenne des coefficients d'écart (SMCE).

Cette variable correspond au coefficient d'écart moyen entre chaque résultat d'essai et la recommandation; on le calcule en additionnant les coefficients d'écart de tous les résultats individuels par rapport à la recommandation et en divisant cette somme par le nombre total de résultats non conformes, selon l'équation :

$$SMCE = \frac{\sum_{i=1}^n \text{coefficients d'écart}_i}{\text{nombre de résultats non conformes}} \quad (4)$$

Pour l'indice de qualité des eaux (CCME, 2001), plutôt que de calculer la SMCE, on a calculé la somme normalisée des coefficients d'écart, ou SNCE, en divisant la somme des coefficients d'écart par le nombre total d'essais (que les résultats soient conformes ou non aux objectifs fixés). En utilisant la SNCE au lieu de la

SMCE, on obtient un facteur F3 plus petit et on augmente la valeur de l'indice de qualité des sols. L'utilisation de la SNCE a pour effet un accroissement de F3 et de la valeur finale de l'indice de qualité des sols avec l'augmentation du nombre total d'essais. Ainsi, pour les fins de l'IQSo, F3 a été modifié de façon à utiliser le SMCE, où la somme des coefficients d'écart est divisée seulement par le nombre total de résultats non-conformes (équation 4). Les principales raisons de ce changement sont les suivantes :

1. Comme la qualité d'un lieu contaminé se mesure principalement par le nombre d'écarts, pour les divers contaminants, par rapport à la recommandation correspondante la valeur de F3 devrait refléter convenablement ce point en comparaison avec le F1 et le F2.
2. L'effet des contaminants est amoindri lorsque l'on divise la somme des coefficients d'écart par le nombre total d'essais.
3. Tout contaminant pour lequel on obtient des résultats non conformes peut avoir de graves répercussions sur la santé des écosystèmes ou de la population. Par conséquent, il ne faut négliger l'impact d'aucun contaminant dans le classement du lieu contaminé.

Étape 3. Le facteur F3 est ensuite calculé suivant une fonction asymptotique qui traduit la somme moyenne des coefficients d'écart (SMCE) sur une échelle de 0 à 100, selon l'équation suivante :

$$F3 = \frac{SMCE}{0,01 SMCE + 0,01} \dots \dots \dots (5)$$

***L'indice de qualité des sols (IQSo)***

Une fois que les facteurs ont été quantifiés, on peut calculer l'IQSo en additionnant tous les facteurs comme s'ils étaient des vecteurs, suivant l'équation 6 ci-dessous. Cette méthode traite l'indice comme un espace tridimensionnel défini par trois axes, correspondant à chacun des facteurs. Avec ce modèle, l'indice varie de façon directement proportionnelle aux variations des trois facteurs.

$$IQSo = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \dots\dots\dots(6)$$

Le diviseur (1,732) normalise les valeurs résultantes à l'intérieur d'une plage comprise entre zéro et cent, où le zéro représente un degré très élevé de contamination ou de préoccupation pour la population, et cent correspond à un degré négligeable de contamination ou de préoccupation pour la population. La valeur du diviseur est calculée comme suit :

$$\frac{\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2}}{100} = 1,732 \dots\dots\dots(7)$$

Si un site ne fait pas l'objet de plus d'une série d'essais dans le temps ou l'espace, le facteur F2 (fréquence) ne s'appliquera pas, et le diviseur de l'équation (6) pour le calcul de l'IQSo sera 1,414. Bien que certains lieux contaminés ne fassent pas l'objet de plus d'une série d'essais dans le temps, ils sont en général analysés sur un grand secteur ou superficie, c'est-à-dire que des échantillons sont prélevés, verticalement, à différentes profondeurs, et horizontalement, à diverses distances du site principal de contamination, pour déterminer toute l'étendue de la contamination. Ainsi, l'ensemble des échantillons selon l'axe vertical et horizontal rendent le facteur 2 applicable aux fins du calcul de l'indice de qualité des sols.

À partir de la valeur finale de l'indice, on peut classer les lieux contaminés en cinq catégories différentes, comme on le décrit ci-dessous. Chaque classe doit être considérée en fonction du degré de préoccupation qu'elle représente pour la santé de la population et des écosystèmes, et de la nécessité d'appliquer des mesures d'assainissement. Les sites dont l'IQSo est élevé (p. ex., entre 90 et 100) sont d'une grande qualité et ne suscitent que très peu de préoccupations. Par conséquent, la priorité accordée aux mesures d'assainissement est faible. À l'autre bout du spectre, un IQSo peu élevé (de 0 à 30) indiquerait un degré très élevé de préoccupation en raison de la contamination; il serait dans ce cas impérieux de mettre en place des mesures d'assainissement.

Il est important de noter que l'évaluation des lieux contaminés à l'aide du SNCLC génère un indice élevé lorsque les risques élevés, et un indice faible lorsque les risques ou le degré de préoccupation quant à d'éventuels effets néfastes sont peu élevés. Par opposition, pour

l'indice de qualité des sols, les résultats et les catégories suivent une tendance inverse (indice élevé = risques peu élevés), et les cotes sont harmonisées avec les indices de qualité des eaux et des sédiments du CCME.

<b>Classes de sites ou degré de préoccupation</b>	<b>Catégories de sols – Cotes de l'IQSo</b>
Très faible	90 - 100
Faible	70 - 90
Moyen	50 - 70
Élevé	30 - 50
Très élevé	0 - 30

Lorsqu'ils communiquent l'IQSo relatif à des lieux contaminés, les utilisateurs devraient également fournir la liste des principaux contaminants préoccupants pour la population et indiquer les mesures d'assainissement nécessaires ou présenter les solutions envisageables pour la gestion des sols, si possible.

**Exemple de calcul de l'IQSo de lieux contaminés**

L'étude de cas ci-dessous concerne un site de la Saskatchewan contaminé par des hydrocarbures pétroliers, qui a été assaini suivant une démarche du 1<sup>er</sup> palier. Des échantillons de sols ont été prélevés en quatre emplacements différents, et analysés pour y déterminer les concentrations en benzène, en éthylbenzène, en toluène, en xylènes, en hydrocarbures pétroliers des fractions F1 (C6 à C10), F2 (C10 à C16), F3 (C16 à C34) et F4 (C34 à C50) et en plomb. Les données analytiques et les recommandations applicables pour la qualité des sols sont présentées au tableau 1.

Calcul de l'IQSo pour l'étude de cas :

$$F1 = \frac{5}{9} \times 100 = 55,6$$

$$F2 = \frac{6}{36} \times 100 = 16,7$$

$$F3: \text{ Coefficient d'écart} - i = \frac{40}{5} - 1 = 7$$

$$\text{ Coefficient d'écart} - ii = \frac{82}{50} - 1 = 0,64$$

$$\text{Coefficient d'écart - iii} = \frac{220}{50} - 1 = 3,4$$

$$F3 = \frac{2,96}{(0,0396)} = 74,8$$

$$\text{Coefficient d'écart - iv} = \frac{2840}{1000} - 1 = 1,84$$

$$IQSo = 100 - \frac{\sqrt{55,6^2 + 16,7^2 + 74,8^2}}{1,732}$$

$$\text{Coefficient d'écart - v} = \frac{100}{30} - 1 = 2,3$$

$$IQSo = 100 - 56 = 45$$

$$\text{Coefficient d'écart - vi} = \frac{180}{50} - 1 = 2,6$$

$$SMCE = \frac{17,78}{6} = 2,96$$

$$F3 = \frac{2,96}{(2,96 \times 0,01 + 0,01)}$$

Conclusions de l'étude de cas :

Degré de préoccupation : élevé

Type de contamination : sol contaminé par du benzène, de l'éthylbenzène, du toluène, des xylènes et des hydrocarbures pétroliers de la fraction F1 (C6-C10).

Solutions de gestion : Les sols doivent être décontaminés jusqu'à ce que les recommandations acceptables établies par la Saskatchewan et la norme pancanadienne pour la fraction F1 des HCP soient atteintes.

**Tableau 1. Analyse d'échantillons de sols d'un site commercial contaminé par des hydrocarbures pétroliers**

Paramètre	Mur ouest (mg/kg)	Fond (mg/kg)	Mur nord (mg/kg)	Mur sud (mg/kg)	Recommandations fixées par la Saskatchewan pour la qualité du sous-sol**
Profondeur (m)	2,4	5,3	2,4	3,0	-
Benzène	0,8	1,1	0,5	<b>40</b>	5,0
Éthylbenzène	27	0,8	4,7	<b>82</b>	50
Toluène	<b>100</b>	2,0	0,8	14	30
Xylènes	<b>180</b>	4,5	7,8	<b>220</b>	50
HCP de la F1	820	96	140	<b>2840</b>	1000
HCP de la F2	130	8,9	21	180	3000
HCP de la F3	<5	<5	<5	<5	5 000
HCP de la F4	<5	<5	<5	<5	10 000
Plomb	10	8	8	16	1000***

Les données excédant les valeurs recommandées par la Saskatchewan sont présentées en caractères **GRAS** et ombrés.

< Non détecté au niveau indiqué

\*\* Critères provisoires de la Saskatchewan pour le BTEX et les fractions de HCP dans les sols pour l'année 2003

\*\*\* Mesures correctives fondées sur le risque imposées par la Saskatchewan pour les lieux contaminés par des produits pétroliers, novembre 1995

## **Analyse de sensibilité**

Il y a certaines différences majeures entre l'indice de qualité des eaux (IQE) et l'IQSo quant à l'établissement des deuxième et troisième facteurs ainsi qu'aux catégories pour le classement des sites. Au vu de ces divergences, le Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des sols du CCME a entrepris une étude visant à analyser la sensibilité de l'indice de qualité des sols proposé. Les principales tâches liées à cette étude étaient les suivantes :

1. Mener une analyse de sensibilité comparant l'utilisation de la SNCE (somme normalisée des coefficients d'écart) à l'utilisation de la SMCE (somme moyenne des coefficients d'écart) aux fins du calcul du facteur F3.
2. Examiner les effets d'autres modifications possibles aux facteurs F1 et F2, et comparer ces résultats avec ceux de l'analyse de sensibilité visant l'indice de qualité des eaux.
3. Évaluer la sensibilité de l'IQSo en fonction du nombre de contaminants utilisés, du choix des recommandations et du choix des contaminants.
4. Évaluer les catégories de classification de sites utilisées pour l'IQSo.
5. Comparer les résultats de l'évaluation des sites obtenus en utilisant l'IQSo par rapport aux cotes de classification déterminées à l'aide du SNCLC.

Gartner Lee Limited a mené cette étude et remis son rapport au GTRQS du CCME en avril 2006 (Gartner Lee Ltd., 2006). Après avoir examiné plus de 50 000 données d'analyse concernant plus de 600 lieux contaminés, la firme a tiré les conclusions ci-dessous.

- a. L'IQSo est sensible à divers facteurs, comme il se doit pour un indice censé refléter les variations dans les caractéristiques des sites qu'il est censé décrire.
- b. Des quatre autres calculs envisagés pour l'IQSo, celui proposé par Jain (2007) et utilisé dans la présente fiche d'information semble être le plus approprié, compte tenu de l'influence à peu près égale des trois facteurs qui génèrent l'indice et de la correspondance avec une méthodologie d'évaluation indépendante déjà utilisée pour les lieux contaminés.
- c. La sélection des contaminants devrait se fonder sur des mesures de la qualité des sols pertinentes pour le site. Il ne semble y voir aucune règle générale simple pour le choix d'un ensemble optimal de contaminants.
- d. L'IQSo est sensible au nombre de contaminants utilisés pour son calcul. En général, la valeur et la

variabilité de l'IQSo augmentent de manière inversement proportionnelle au nombre de contaminants employés.

- e. L'IQSo s'ajuste de la manière escomptée aux changements touchant les recommandations : il génère des pointages plus élevés (sites jugés de bonne qualité) lorsque l'on utilise des recommandations moins strictes, et des résultats plus faibles (sols jugés de moins bonne qualité) si l'on emploie des objectifs plus exigeants.
- f. La base de données étudiée comprenait une série de 32 échantillons (valeur médiane) pour l'analyse de 7 contaminants à chaque site. Si cet ensemble est représentatif du nombre typique d'échantillons prélevés dans un lieu contaminé, il semble répondre adéquatement aux besoins de l'évaluation à l'aide de l'IQSo.
- g. Il y a une correspondance générale (inverse) entre l'IQSo d'un site donné et la cote du SNCLC, avec une corrélation significative ( $p < 0,05$ ). On remarque aussi une correspondance entre l'IQSo et la cote générale des catégories de sites suivant les classifications nominales du SNCLC mais, pour des sites en particulier, on peut observer des différences significatives. Ces divergences peuvent être dues à des variations fondamentales quant aux facteurs liés au site qui sont pris en compte dans les deux systèmes d'évaluation.
- h. On pourrait pousser davantage l'étude des causes précises des divergences entre les systèmes d'évaluation de l'IQSo et du SNCLC.

On trouvera plus de détails sur l'analyse de sensibilité dans le rapport de Gartner Lee Ltd. (2006).

## **Remerciements**

Cette méthode a été mise au point par Pritam Jain, du ministère de l'Environnement de la Saskatchewan (Jain, 2007), puis elle a été soumise au Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des sols du CCME afin que celui-ci en fasse un outil d'application nationale. Kelly Potter, d'Environnement Canada, et Pritam Jain ont dirigé les projets nécessaires pour donner à cette méthode sa forme définitive. L'analyse de sensibilité de l'indice de qualité des sols et la préparation du modèle sur chiffrier électronique, ou calculateur d'indice, sont l'œuvre de Bernie Neary et Richard Perreault, de Gartner Lee Ltd. Nous tenons à remercier Jean Pineault, de Pêches et Océans Canada, pour avoir fourni les données sur les lieux contaminés aux fins de l'analyse de sensibilité. L'examen des

commentaires qui ont contribué à l'élaboration de ce projet a été assuré par : Susan Roe, Kelly Potter et Vincent Mercier, d'Environnement Canada; les membres du Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des sols du CCME; des spécialistes du ministère de l'Environnement de la Saskatchewan; Bernie Neary, de Gartner Lee Ltd.

## Références

- CCME. 1992. Système national de classification des lieux contaminés. Rapport n° EPC-CS39 du CCME. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- CCME. 1993a. Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés. Volume 1. Rapport principal. Rapport EPC-NCS62F du CCME. Conseil canadien des ministres de l'environnement, 90 p.
- CCME. 1993b. Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés. Volume 2. Sommaires des méthodes d'analyse. Rapport EPC-NCS66F du CCME. Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg. 180 p.
- CCME. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement (et addenda subséquents). Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- CCME. 2001. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique. Indice de qualité des eaux du CCME 1.0. Rapport technique. Dans : Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- CCME 2001a. Standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers (HCP) dans le sol. Supplément technique, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- CCME 2001b. Standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers (HCP) dans le sol. Guide d'utilisation, Conseil canadien des ministres de l'environnement, Winnipeg.
- CCME. 2003. Standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers (HCP) dans le sol. Modèle de tableur. Préparé par Meridian Environmental Inc. pour le CCME.
- Environnement Canada. 2003. Système de classification des sites contaminés du PASCF. Document d'orientation. Rapport final, version 1.5. Environnement Canada, Ottawa.
- Gartner Lee Ltd. 2006. A sensitivity analysis of the Soil Quality Index. Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement. 25 p. (En anglais seulement.)
- Grapentine, I., Marvin, C. H., and Painter, S. 2002. Development and evaluation of a sediment quality index for the Great Lakes and associated areas of concern. Hum. Ecol. Risk Assess. 8: 1549-1567.
- Hébert, S. 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour des rivières du Québec. Rapport du ministère de l'Environnement et de la Faune.
- Jain, P. 2007. A soil quality index for rating contaminated sites. Saskatchewan Environment Report. 20 p.
- Marvin, C.L. Grapentine, and S. Painter. 2004. Application of a sediment quality index to the lower Laurentian Great Lakes. Environmental Monitoring and Assessment. 91:1-16.
- Michigan Dept. Environmental Quality. 2004. Tier1 Lookup Tables for Risk Based Corrective Action. <http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-rrd-part201-rules-Rule746Table.pdf>.
- Rocchini, R. and L.G. Swain. 1995. The British Columbia Water Quality Index. Water Quality Branch, Environmental Protection Department, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. B.C. 13 p.
- Wright, C.R., K.A. Saffiran, A.M. Anderson, R.D. Neilson, N.D. MacAlpine and S.E. Cooke. 1999. A water quality index for agricultural streams in Alberta: The Alberta Agricultural Water Quality Index (AAWQI). Alberta Agriculture, Food and Rural Development.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2007. Indice de la qualité des sols du CCME 1.0 : Rapport technique. 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 communiquer avec :

Environnement Canada  
Bureau national des recommandations et des normes  
351, boul. Saint-Joseph  
Gatineau (QC)  
K1A 0H3  
Téléphone : 1-819-953-1550  
Courriel : [ceqg-rcqe@ec.gc.ca](mailto:ceqg-rcqe@ec.gc.ca)  
<http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe>

Pour obtenir d'autres exemplaires du présent document, veuillez communiquer avec :

Documents du CCME  
Sans frais : 1-800-805-3025  
[www.ccme.ca](http://www.ccme.ca)