



Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique

CADMIUM

Le cadmium (Cd) est un oligo-élément non essentiel qui, à forte concentration, peut être toxique pour le biote aquatique. Une récente évaluation portant sur le cadmium, menée en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE), indiquait que des formes dissoutes et solubles de cadmium inorganique étaient libérées dans le milieu naturel, en quantités, à des concentrations ou dans des conditions qui ont ou peuvent avoir un effet néfaste sur l'environnement (Gouvernement du Canada, 1994). Le cadmium pénètre dans les systèmes aquatiques par voie de dépôt atmosphérique ou de ruissellement et s'accumule dans les matériaux de fond en s'associant avec des particules, comme la matière organique et les hydroxydes de fer et de manganèse, ou en se précipitant avec des carbonates ou des sulfures (Landrum et Robbins, 1990; Burton, 1992). Les sédiments constituent donc pour les organismes aquatiques une voie d'exposition importante. Les recommandations provisoires pour la qualité des sédiments (RPQS) et les concentrations produisant un effet probable (CEP) établies pour le cadmium peuvent être utilisées pour évaluer dans quelle mesure une exposition au cadmium contenu dans les sédiments est susceptible de produire des effets biologiques néfastes.

Les RPQS et les CEP canadiennes pour le cadmium ont été établies à l'aide d'une variante de la démarche du National Status and Trends Program, démarche décrite dans le document du CCME (1995) (tableau 1). Les RPQS et les CEP se rapportent aux concentrations totales de cadmium dans les sédiments de surface (couche supérieure de 5 cm), quantifiées par digestion à l'aide d'un acide fort (p. ex., acide nitrochlorhydrique, nitrique ou chlorhydrique) et analysées au moyen d'un protocole normalisé.

La majorité des données utilisées pour élaborer les RPQS et calculer les CEP pour le cadmium proviennent d'études qui ont été réalisées sur des sédiments prélevés sur le terrain et qui ont permis de mesurer les concentrations de cadmium et d'autres produits chimiques ainsi que leurs effets biologiques, résultats qui ont été compilés dans la Biological Effects Database for Sediments (BEDS) (Environnement Canada, 1997). Les ensembles de données sur les taux de cadmium dans les sédiments d'eau douce et les sédiments marins sont vastes : celui relatif aux sédiments d'eau douce renferme 86 entrées sur des

concentrations entraînant un effet et 363 entrées sur des concentrations à effet nul ; l'autre relatif aux sédiments marins compte 107 entrées sur des concentrations entraînant un effet et 326 entrées sur des concentrations à effet nul (figures 1 et 2). La BEDS renferme des données relatives à une vaste gamme de concentrations, de types de sédiments et de mélanges de produits chimiques. Selon une évaluation du pourcentage des entrées sur des concentrations qui entraînent un effet et se situent sous les RPQS, entre les RPQS et les CEP et au-dessus des CEP (figures 1 et 2), ces valeurs définissent trois plages de concentrations chimiques : les concentrations ayant rarement, parfois ou souvent des effets biologiques néfastes (Environnement Canada, 1997).

Toxicité

Les effets biologiques néfastes répertoriés pour le cadmium dans la BEDS comprennent une diminution de l'abondance des invertébrés benthiques, un accroissement de la mortalité ainsi que des modifications comportementales (Environnement Canada, 1997, annexes IIa et IIb). Ainsi, les taxons relativement sensibles que sont les éphéméroptères, les plécoptères et les trichoptères étaient peu abondants dans la baie de Penetang (lac Huron, en Ontario), où la concentration moyenne de cadmium était de $0,77 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, concentration qui dépasse la RPQS pour les sédiments d'eau douce, par rapport aux abondances observées à des endroits où la concentration de cadmium s'établissait à $0,38 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Jaagumagi, 1988). De même, on a observé une augmentation de la mortalité, une diminution du réenfouissement et une hausse de l'émergence chez *Lepidactylus dytiscus*, un amphipode (Hall et coll., 1992). En laboratoire, on a exposé des organismes d'essai pendant des périodes de 10 et de 20 jours à des sédiments estuariens (provenant de

Tableau 1. Recommandations provisoires pour la qualité des sédiments (RPQS) et concentrations produisant un effet probable (CEP) établies pour le cadmium ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ps)

	Sédiments d'eau douce	Sédiments marins et estuariens
RPQS	0,6	0,7
CEP	3,5	4,2

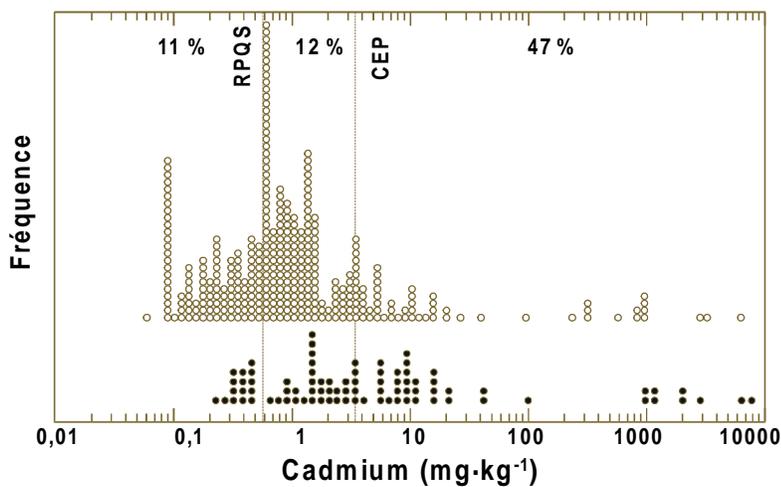


Figure 1. Distribution des concentrations de cadmium dans les sédiments d'eau douce, qui entraînent (●) ou non (○) des effets biologiques néfastes. Les pourcentages indiquent la proportion des concentrations ayant des effets dans les plages qui se situent en deçà de la RPQS, entre la RPQS et la CEP et au-delà de la CEP.

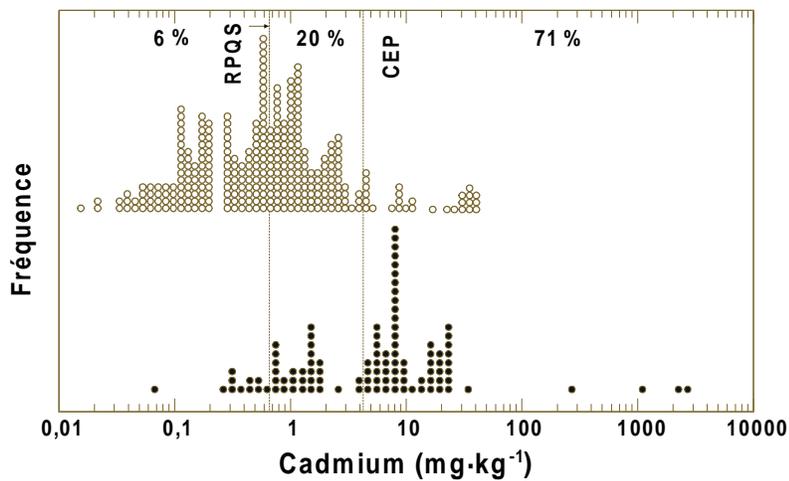


Figure 2. Distribution des concentrations de cadmium dans les sédiments marins et estuariens, qui entraînent (●) ou non (○) des effets biologiques néfastes. Les pourcentages indiquent la proportion des concentrations ayant des effets dans les plages qui se situent en deçà de la RPQS, entre la RPQS et la CEP et au-delà de la CEP.

Chesapeake Bay, aux États-Unis) qui présentaient une concentration moyenne de cadmium de $1,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, concentration supérieure à la RPQS pour les sédiments marins (Hall et coll., 1992). Dans cette étude, les sédiments renfermant plus de $0,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cadmium, concentration inférieure à la RPQS pour les sédiments marins, n'ont pas produit d'effets biologiques néfastes chez cette espèce.

Des tests de toxicité des sédiments avec dopage indiquent que le cadmium commence à avoir des effets toxiques sur les organismes benthiques à des concentrations plus élevées que celles qui ont été observées dans les études sur le terrain. Cet écart est probablement attribuable aux temps d'exposition plus courts des études en laboratoire ainsi qu'à l'exposition des organismes au seul cadmium et non à des mélanges de produits chimiques renfermant du cadmium (Environnement Canada, 1997). Ainsi, la $CL_{50-10 \text{ j}}$ dans *Rhepoxynius abronius*, un amphipode marin, se situe entre $6,9$ et $11,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Swartz et coll., 1985; Mearns et coll., 1986; Ott, 1986; Robinson et coll., 1988), plage qui se rapproche de la CEP de $4,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les sédiments marins.

Di Toro et coll. (1990) ont par ailleurs montré que des concentrations élevées de sulfures volatils en milieu acide (SVMA) avaient un effet protecteur. Cette étude a révélé que la $CL_{50-10 \text{ j}}$ dans *Rhepoxynius hudsoni* et *Ampelisca abdita* était respectivement 50 et 500 fois plus élevée environ que la CEP pour les sédiments marins.

Les effets sublétaux du cadmium sur les organismes marins, qu'ont révélés des tests de toxicité des sédiments avec dopage, comprennent une incidence sur l'émergence et le réenfouissement de *R. abronius* à des concentrations de $6,5$ à $16,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, concentrations à peine supérieures à la CEP pour les sédiments marins (Swartz et coll., 1985; Mearns et coll., 1986). On a également observé un évitement des sédiments dans *Rhepoxynius* spp. et *Eohaustorius sencillus* sous l'effet d'une exposition à des concentrations similaires (Oakden et coll., 1984a, 1984b). En revanche, les temps et les taux d'enfouissement de trois espèces de vers polychètes et le comportement alimentaire de l'une de ces espèces (*Glycera dibranziata*) sont demeurés inchangés après une exposition de 28 jours à des concentrations de cadmium 10 fois supérieures à la CEP pour les sédiments marins (Olla et coll., 1988).

Dans des tests de toxicité des sédiments d'eau douce avec dopage, le potentiel reproductif du ver oligochète fousseur *Tubifex tubifex* diminuait lorsque la

concentration de cadmium ($12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) était supérieure à la CEP pour les sédiments d'eau douce et que la teneur en carbone organique total (COT) était de 1 %. À des concentrations comparables de cadmium, mais à une teneur en COT de 12 %, aucun effet néfaste n'a été observé (Day et coll., 1994). Ces résultats semblent indiquer que la matière organique peut modifier la toxicité du cadmium pour les organismes benthiques d'eau douce. D'autres tests de toxicité des sédiments d'eau douce avec dopage n'ont pas permis d'établir que le cadmium avait des effets néfastes aux concentrations observées dans les milieux aquatiques (Environnement Canada, 1997).

Les résultats de tests de toxicité des sédiments marins et des sédiments d'eau douce avec dopage indiquent que les concentrations de cadmium qui entraînent des effets néfastes sont toujours supérieures aux RPQS, ce qui confirme que ces recommandations correspondent à des concentrations en deçà desquelles des effets biologiques défavorables seront rarement observés. Ces études fournissent par ailleurs une preuve supplémentaire que les concentrations toxiques de cadmium dans les sédiments sont comparables aux CEP, ce qui permet de conclure que des effets néfastes sont davantage susceptibles d'être observés lorsque les concentrations de cadmium dépassent les CEP. Les RPQS et les CEP fixées pour le cadmium devraient donc constituer de précieux outils d'évaluation de l'incidence écotoxicologique des concentrations de cette substance dans les sédiments.

Concentrations

Au Canada, les concentrations de cadmium dans les sédiments d'eau douce et les sédiments marins varient considérablement d'une région à l'autre (Environnement Canada, 1997). Les concentrations de fond moyennes en cadmium, indiquées dans la base de données du Programme d'exploration géochimique préliminaire (PEGP) de la Commission géologique du Canada (CGC) (Friske et Hornbrook, 1991), sont respectivement de $0,32 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ et de $0,63 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les sédiments lacustres et fluviaux (P.W.B. Friske, 1996, CGC, Ottawa, comm. pers.). Les RQQS et les CEP pour les sédiments d'eau douce correspondent au 82^e et au 98,25^e centile, respectivement lorsqu'elles sont comparées aux concentrations de fond en cadmium dans les sédiments lacustres et marins, qui sont enregistrées dans la base de données du PEGP (N = 78 735) (R.G. Garrett, 1997, CGC, Ottawa, comm. pers.). Cette comparaison montre

que les concentrations de fond en cadmium dans la plupart des régions du Canada sont inférieures à la RPQS pour les sédiments d'eau douce, qui est de $0,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dans les systèmes marins, les concentrations de fond moyennes de cadmium, estimées pour les couches profondes de carottes de sédiments ($> 10 \text{ cm}$) à partir des valeurs fournies dans diverses publications, variaient entre $0,16$ et $4,24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (plage dont la limite inférieure se situe bien en deçà de la RPQS et la limite supérieure, juste au-dessus de la CEP pour les sédiments marins) (Environnement Canada, 1997).

Les concentrations de cadmium dans les sédiments de surface situés à proximité de sources ponctuelles de contamination dépassent souvent les valeurs estimées des concentrations de fond (Environnement Canada, 1997). Ainsi, on a mesuré des concentrations atteignant $19,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les sédiments de ports maritimes recevant divers effluents industriels et $235 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les lacs d'eau douce situés à proximité d'installations minières et de fonderies (Environnement Canada, 1997).

Autres considérations

Quelle que soit l'origine de la teneur en cadmium des sédiments, des concentrations élevées de cette substance peuvent avoir un effet néfaste sur les organismes aquatiques exposés. On ne peut prédire avec certitude les effets biologiques défavorables qu'entraînera une exposition au cadmium en se fondant uniquement sur les données relatives aux concentrations, surtout dans les plages qui se situent entre les RPQS et les CEP (figures 1 et 2). L'incidence biologique d'une exposition au cadmium varie en fonction de l'emplacement. Les facteurs propres à l'emplacement qui influent sur la biodisponibilité comprennent la sensibilité de chaque espèce exposée, les paramètres examinés ainsi que divers facteurs physicochimiques (p. ex., pH, potentiel d'oxydo-réduction et taille des particules), biologiques (p. ex., comportement alimentaire et vitesse d'absorption) et géochimiques (p. ex., concentrations de matières organiques et de sulfures) (Environnement Canada, 1997).

Les organismes benthiques sont exposés, par contact superficiel et ingestion de sédiments, aux formes particulaires et dissoutes du cadmium dans les eaux interstitielles et sus-jacentes, ainsi qu'au cadmium lié aux sédiments. Les formes dissoutes du cadmium sont toutefois jugées les plus facilement assimilables (Loring

et Prosi, 1986). Le cadmium associé aux fractions sédimentaires qui présentent un pouvoir d'échange cationique ou qui sont facilement réduites affiche généralement une plus grande biodisponibilité que le cadmium associé aux autres fractions (Environnement Canada, 1997). Le cadmium associé à d'autres phases sédimentaires, comme les phases inorganiques solides, la matière organique et les oxydes de fer et de manganèse, peut devenir assimilable lorsque les conditions environnementales ambiantes subissent des changements qui agissent sur la distribution du cadmium entre les phases dissoutes et particulières (p. ex., turbation des sédiments, baisse du pH et augmentation du potentiel d'oxydo-réduction). En revanche, le cadmium fixé dans les réseaux cristallins de l'argile et de certains autres minéraux associés à des fractions sédimentaires résiduelles ou extractibles à l'acide est généralement tenu pour le moins facilement assimilable. Après ingestion, la biodisponibilité du cadmium dépend de divers facteurs, dont l'activité enzymatique et le pH du tube digestif (Environnement Canada, 1997).

Récemment, on a commencé à accorder une attention particulière au rôle que jouent les SVMA dans la modification de la biodisponibilité du cadmium dans les sédiments anoxiques. On a proposé un modèle pour prédire l'absence de biodisponibilité (et donc de toxicité) des métaux traces cationiques lorsque le rapport molaire des métaux simultanément extractibles (MSE), y compris le cadmium, aux SVMA présents dans les sédiments est inférieur à 1 (ou lorsque la différence est inférieure à 0) en raison de la complexion des métaux avec le sulfure disponible (Di Toro et coll., 1990; MacDonald et Salazar, 1995). Bien que les études de laboratoire attestent de l'absence de biodisponibilité du cadmium lorsque le rapport MSE/SVMA dans les sédiments est inférieur à 1, plusieurs éléments limitent l'applicabilité du modèle à la prédiction de la biodisponibilité du cadmium sur le terrain (Hare et coll., 1994; Leonard et coll., 1995; Environnement Canada, 1997). Il faut cependant tenir compte du rôle des SVMA et d'autres facteurs ainsi que des RPQS et des CEP dans l'évaluation du cadmium contenu dans les sédiments d'un emplacement donné.

À l'heure actuelle, on ne peut prédire avec certitude dans quelle mesure le cadmium sera assimilable en des endroits donnés en se fondant sur les caractéristiques physico-chimiques des sédiments ou sur les particularités des organismes endémiques (Environnement Canada, 1997). Quoi qu'il en soit, un examen approfondi des données toxicologiques disponibles indique que la

fréquence des effets biologiques néfastes d'une exposition au cadmium augmente en raison directe de la concentration pour une gamme précise de types de sédiments (figures 1 et 2). Les RPQS et les CEP pour le cadmium seront donc utiles pour évaluer l'importance écotoxicologique de cette substance dans les sédiments.

Références

- Burton, G.A., Jr. 1992. Sediment toxicity assessment. Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1995. Protocole pour l'élaboration de recommandations pour la qualité des sédiments en vue de la protection de la vie aquatique. CCME EPC-98F. Préparé par Environnement Canada, Division des recommandations, Secrétariat technique du CCME, Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux. Ottawa. [Repris dans les Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, chapitre 6, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999, Winnipeg, MB.]
- Day, K.E., P. Hamr, S. Kirby et T.B. Reynoldson. 1994. A report on the biological effects of contaminants in spiked-sediment bioassays: Preliminary results. Préparé pour le Programme national d'assainissement des lieux contaminés. Environnement Canada, Service de la conservation de l'environnement, Direction générale de la science des écosystèmes, Division des recommandations. Ottawa. Rapport inédit.
- Di Toro, D.M., J.D. Mahony, D.J. Hansen, K.J. Scott, M.B. Hicks, S.M. Mayr et M.S. Redmond. 1990. Toxicity of cadmium in sediments: The role of acid volatile sulfide. Environ. Toxicol. Chem. 9:1487-1502.
- Environnement Canada. 1997. Canadian sediment quality guidelines for cadmium: Supporting document. Service de la conservation de l'environnement, Direction générale de la science des écosystèmes, Direction de la qualité de l'environnement et de la politique scientifique, Division des recommandations et des normes, Ottawa.
- Friske, P.W.B. et E.H.W. Hornbrook. 1991. Canada's National Geochemical Reconnaissance programme. Trans. Inst. Min. Metall. 100:B47-B56.
- Gouvernement du Canada. 1994. Le cadmium et ses composés : Liste des substances d'intérêt prioritaire — rapport d'évaluation, Loi canadienne sur la protection de l'environnement, Ottawa, Environnement Canada et Santé Canada.
- Hall, L.W., Jr., M.C. Ziegenfuss, S.A. Fischer, R.D. Anderson, W.D. Killen, R.W. Alden III, E. Deaver, J.W. Gooch et N. Shaw. 1992. A pilot study for ambient toxicity testing in Chesapeake Bay: Year two report. CBP/Trs 82/92. Préparé pour U.S. Environmental Protection Agency for the Chesapeake Bay Program. Contrat n°. 68-WO-00-43. Préparé par University of Maryland System. Queensland, MD.
- Hare, L., R. Carigan et M.A. Huerta-Diaz. 1994. A field study of metal toxicity and accumulation by benthic invertebrates: Implications for the acid-volatile sulfide (AVS) model. Limnol. Oceanogr. 39:1653-1668.
- Jaagumagi, R. 1988. The in-place pollutants program. Volume V, Partie B. Benthic invertebrates studies results. Ministère de l'environnement de l'Ontario, Direction des ressources en eau, Section de biologie aquatique, Toronto.
- Landrum, P.F. et J.A. Robbins. 1990. Bioavailability of sediment-associated contaminants to benthic invertebrates, dans Sediments: chemistry and toxicity of in-place pollutants, R. Baudo, J. Giesy et H. Muntau, éds. Lewis Publishers. Boca Raton, FL.
- Leonard, E.N., V.R. Mattson et G.T. Ankley. 1995. Horizon-specific oxidation of acid volatile sulfide in relation to the toxicity of cadmium piked into freshwater sediment. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 28:78-84.
- Loring, D.H. et F. Prosi. 1986. Cadmium and lead cycling between water, sediment, and biota in an artificially contaminated mud flat on Borkum (F.R.G.). Water Sci. Technol. 18:131-139.
- MacDonald, D.A. et S.M. Salazar. 1995. The utility of AVS/EqP in hazardous waste site evaluations. NOAA technical memorandum NOS ORCA 87. Seattle, WA.
- Mearns, A.J., R.C. Swartz, J.M. Cummins, P.A. Dinnel, P. Plesha et P.M. Chapman. 1986. Inter-laboratory comparison of a sediment toxicity test using the marine amphipod, *Rhepoxynius abronius*. Mar. Environ. Res. 19:13-37.
- Oakden, J.M., J.S. Oliver et A.R. Flegal. 1984a. Behavioural responses of a phoxocephalid amphipod to organic enrichment and trace metals in sediment. Mar. Ecol. Prog. Ser. 14:253-257.
- . 1984b. EDTA chelation and zinc antagonism with cadmium in sediment: Effects on the behaviour and mortality of two infaunal amphipods. Mar. Biol. 84:125-130.
- Olla, B.L., V.B. Estell et R.C. Swartz. 1988. Responses of polychaetes to cadmium-contaminated sediment: Comparison of uptake and behaviour. Environ. Toxicol. Chem. 7:587-592.
- Ott, F.S. 1986. Amphipod sediment bioassays: Effects on response of methodology, grain size, organic content, and cadmium. Thèse de doctorat. University of Washington, Seattle, WA.
- Robinson, A.M., J.O. Lamberson, F.A. Cole et R.C. Swartz. 1988. Effects of culture conditions on the sensitivity of a phoxocephalid amphipod, *Rhepoxynius abronius*, to cadmium in sediment. Environ. Toxicol. Chem. 7:953-959.
- Swartz, R.C., G.R. Ditsworth, D.W. Schults et J.O. Lamberson. 1985. Sediment toxicity to a marine infaunal amphipod: cadmium and its interaction with sewage sludge. Mar. Environ. Res. 18:133-153.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999. *Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique — cadmium*, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil.

Pour les questions de nature scientifique, veuillez
contacter :

Environnement Canada
Division des recommandations et des normes
351, boul. St-Joseph
Hull (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>

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

Documents du CCME
a/s de Publications officielles du Manitoba
200, rue Vaughan
Winnipeg (Manitoba) R3C 1T5
Téléphone : (204) 945-4664
Télécopieur : (204) 945-7172
Courrier électronique : spcme@chc.gov.mb.ca

© Conseil canadien des ministres de l'environnement 1999
Extrait de la publication n° 1300; ISBN 1-896997-36-8

Also available in English.