



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

VANADIUM 1997

Ce feuillet d'information présente les recommandations canadiennes pour la qualité des sols concernant le vanadium (V) en vue de la protection de l'environnement (tableau 1). Un document scientifique plus élaboré, soutenant les recommandations présentées ici, est également disponible (Environnement Canada, 1996).

Information générale

Le vanadium (CAS 7440-62-2) est un métal de transition ayant le numéro atomique 23 et une masse atomique de 50,94. C'est un métal ductile et blanc argenté, ayant deux isotopes naturels. Comme d'autres éléments du groupe de

transition VA, le vanadium forme de nombreux composés, souvent complexes, à cause de ces nombreux états de valence, qui s'étendent de +2 à +5; l'état +5 étant la forme principale d'oxydation (Lagerkvist et coll., 1986). Le vanadium peut se comporter comme un métal ou comme un non-métal et peut aussi bien former des sels cationiques qu'anioniques, cependant la nature exacte de ces ions en solution aqueuse demeure inconnue.

Les sels de vanadium (+2) et de vanadium (+3) sont des agents réducteurs puissants et sont facilement oxydés en présence d'air (API, 1985). Le vanadium (+4) et le vanadium (+5) sont habituellement liés à l'oxygène sous forme d'oxyanions polymériques chargés négativement, qui ont tendance à former des complexes avec des ligands

Tableau 1. Recommandations pour la qualité des sols concernant le vanadium (mg·kg⁻¹).

	Vocation du terrain			
	Agricole	Résidentielle/ parc	Commerciale	Industrielle
Recommandation	130^a	130^a	130^b	130^b
RQS _{SH}	NC ^c	NC ^c	NC ^c	NC ^c
Voie limitant la RQS _{SH}	ND	ND	ND	ND
RQS _{SH} provisoire	NC ^d	NC ^d	NC ^d	NC ^d
Voie limitant la RQS _{SH} provisoire	ND	ND	ND	ND
RQS _E	130	130	130	130
Voie limitant la RQS _E	Contact avec le sol			
RQS _E provisoire	NC ^e	NC ^e	NC ^e	NC ^e
Voie limitant la RQS _E provisoire	ND	ND	ND	ND
Critère provisoire de qualité des sols (CCME, 1991)	200	200	aucun	aucun

Notes : NC = non calculée; ND = non déterminée; RQS_E = recommandation pour la qualité des sols : environnement; RQS_{SH} = recommandation pour la qualité des sols : santé humaine

^aLes données sont suffisantes et adéquates pour calculer une RQS_E. Elle est inférieure au critère provisoire correspondant de qualité des sols (CCME, 1991). Par conséquent, la recommandation pour la qualité des sols remplace le critère provisoire de qualité des sols pour cette utilisation du terrain.

^bLes données ne sont suffisantes et adéquates que pour calculer une RQS_E seulement. Aucun critère de qualité des sols (CCME, 1991) n'a été établi pour cette utilisation du milieu. Par conséquent, la RQS_E devient la recommandation pour la qualité des sols.

^cIl n'existe présentement aucune RQS_{SH} pour cette utilisation du terrain.

^dIl n'existe présentement aucune RQS_{SH} provisoire pour cette utilisation du terrain.

^eComme les données sont suffisantes et adéquates pour calculer une RQS_E pour cette utilisation du terrain, aucune RQS_E provisoire n'est calculée.

Les recommandations de ce feuillet d'information ne donnent qu'une orientation générale. Les conditions particulières à chaque lieu doivent être prises en considération dans l'utilisation de ces valeurs. Les recommandations peuvent être utilisées différemment selon les autorités concernées. Le lecteur est prié de consulter l'autorité appropriée avant d'appliquer ces valeurs.

polarisables, comme le phosphore et le soufre (OMS, 1988). Le vanadium (+5) est réduit en vanadium (+4) par des agents réducteurs relativement doux. Presque tous les complexes de vanadium (+4) sont anioniques et quelques-uns sont non-électrolytes. Le vanadium (+4) forme un grand nombre de complexes à cinq ou six coordonnées, tel que l'acétylacétonate vanadyle et les porphyrines vanadyles que l'on retrouve dans le pétrole brut. Comme le vanadium peut être un métal électro-négatif ou électro-positif, on peut le retrouver dans une grande variété de composés chimiques. En fait, le vanadium peut former le deuxième plus grand nombre de composés chimiques, suivant le carbone (OMS, 1988). Le vanadium pur est très résistant à la corrosion dans les solutions salines simples aérées. Dans ses formes d'oxydation les plus basses, il est amphotère et basique, et dans ses formes les plus élevées, il est acide.

Le vanadium a des usages industriels importants, notamment en métallurgie ferreuse où on utilise de 75 à 85 % de tout le vanadium produit comme élément d'alliage pour la fabrication d'aciers spéciaux. Le vanadium pur est très rarement utilisé car il réagit facilement avec l'oxygène, l'azote et le carbone, à une température relativement faible (300 °C) (OMS, 1988). Le vanadium est combiné avec le chrome, le nickel, le manganèse, le bore, le tungstène et d'autres éléments pour produire des aciers carboniques très résistants. Le vanadium peut être une composante des aciers de structure utilisés en construction, dans le transport, en ingénierie, en chaudronnerie et dans les aciers d'outils. Il est ajouté à l'acier sous forme de ferrovanadium (un alliage fer-vanadium contenant de 40 à 80 % de vanadium) ou de carbure de vanadium (Zeng, 1980). Le vanadium est aussi un élément majeur dans les alliages de titanium à grande résistance. Les alliages de vanadium avec les métaux non ferreux (p. ex., l'aluminium, le titanium, et le cuivre) sont très utilisés dans l'industrie atomique, l'aviation et la technologie aérospatiale (OMS, 1988).

Dans l'industrie chimique, les oxydes de vanadium et les vanadates ont des rôles importants à jouer comme catalyseurs dans la synthèse de l'acide sulfurique et de plastiques, dans l'oxydation de composés organiques, dans le craquage du pétrole, dans la purification des gaz d'échappement et dans l'oxydation de l'éthanol. Le pentoxyde et d'autres sels de vanadium variés sont utilisés dans la production de laques et de peintures, et comme révélateurs, sensibilisateurs et colorants en photographie et en cinématographie. Les quantités de vanadium utilisées par l'industrie chimique sont souvent petites, et un certain niveau de recyclage du vanadium utilisé comme catalyseur existe (OMS, 1988).

Au Canada, la principale utilisation industrielle du vanadium, comprenant 85 % de la consommation totale, est la production d'aciers faiblement alliés, à grande résistance, et d'aciers à matrice et à outils. Un autre 10 % est employé dans la fabrication d'alliages de titanium-aluminium pour l'industrie aérospatiale (Énergie, Mines et Ressources Canada, 1990). L'autre 5 % est surtout utilisé dans l'industrie chimique comme catalyseur dans la production de plastiques polymères, d'acides sulfuriques et nitriques, comme mordant dans les teintures et les encres pour tissus d'impression, et dans les rubans de vanadium-gallium utilisés dans les superconducteurs (van Zinderen Bakker and Joworski, 1980).

Les stations de production d'électricité et de chaleur qui fonctionnent aux carburants fossiles (c.-à-d., le pétrole, le charbon, et l'huile) sont responsables de la principale décharge de vanadium dans l'environnement. Le vanadium est présent dans les gaz de cheminée et dans les cendres légères. L'incinération de déchets de charbon ou les dépotoirs de poussière de charbon dans les régions minières sont d'autres sources importantes de rejets atmosphériques (USEPA, 1987). Les autres importantes sources d'émission dans l'air comprennent la refonte de la ferraille d'acier, la transformation de fer titané et de minerais magnétites vanadiques de fer en acier, ainsi que la cuisson des scories de vanadium, les fours de fusion de pentoxyde de vanadium et les fournaies électriques dans lesquelles le ferrovanadium est extrait par fusion (OMS, 1988).

D'après la Commission géologique du Canada, des dépôts de vanadium et des filons vanadifères se trouvent dans toutes les provinces et territoires. Les plus importants dépôts connus sont au Québec, en Alberta, en Colombie-Britannique et au Yukon. On retrouve au Canada presque tous les minéraux vanadifères primaires, des quelque 20 qui existent, alors que seulement quelques-uns des minéraux secondaires y sont présents. Les minéraux primaires sont généralement associés aux roches igneuses, aux complexes carbonatés, aux complexes de magnétite titanifère, et aux dépôts de chromite, d'uranium, de fer et de manganèse (van Zinderen Bakker and Joworski, 1980).

La teneur en vanadium des sols est relié à la teneur en vanadium des roches mères qui les ont formés; les concentrations les plus élevées se retrouvent dans les schistes et les argiles. Le vanadium est réparti uniformément dans tous les horizons du sol, mais on en retrouve parfois en plus haute concentration dans l'horizon A, possiblement à cause des biocycles des plantes (OMS, 1988).

Selon la « Soil Metal Database » de la Direction de la protection des sols de l'Alberta, les concentrations naturelles moyennes des sols canadiens variaient de 38 à 42 mg·kg⁻¹, et tendent à augmenter avec la profondeur du sol (G. Dinwoodie, 1995, Direction de la protection des sols de l'Alberta, à Edmonton, comm. pers.). Les valeurs minimales et maximales sont de 10 et 90 mg·kg⁻¹.

Des échantillons de sol prélevés dans des parcs ruraux et de vieux parcs urbains de l'Ontario, n'ayant pas été affectés par des sources locales ponctuelles de pollution, ont été analysés afin de déterminer les concentrations de fond moyennes de vanadium. Les valeurs du 98^e centile des échantillons analysés étaient de 71 mg·kg⁻¹ dans les vieux parcs urbains et 77 mg·kg⁻¹ dans les parcs ruraux (MEEQ, 1993).

Les méthodes analytiques recommandées pour le vanadium par le CCME sont la Méthode SM 3111D, la Méthode SM 3120B, et la Méthode 6010 - Révision 0 de la USEPA (CCME, 1993).

Devenir dans l'environnement et comportement dans les sols

Le vanadium se retrouve dans les roches et les sols sous forme trivalente, relativement insoluble. Il ne forme pas ses propres minéraux et n'existe pas comme métal libre, cependant, il est surtout présent sous forme de vanadates de cuivre, de zinc, de plomb, d'uranium, de fer ferrique, de manganèse, de calcium et de potassium (API, 1985). De plus, le vanadium a tendance à remplacer d'autres métaux tel que le fer, le titane et l'aluminium dans les structures cristallines (Cannon, 1963). L'érosion de la roche mère augmente la disponibilité de vanadium dans les sols.

Le vanadium (+5) est plus soluble et donc plus mobile que le vanadium (+4), tandis que le vanadium (+3) est la forme la moins mobile. Dans les dépôts de charbon bitumineux, le vanadium (+4) est oxydé en vanadium (+5), qui est soluble dans l'eau, et donc peut pénétrer dans les systèmes biologiques (van Zinderen Bakker and Jaworski, 1980). D'après Brooks (1972), le vanadium est très mobile dans les sols neutres ou alcalins par rapport à d'autres métaux. Norrish (1975) a observé que les oxydes ferreux mobiles retiennent une fraction substantielle du vanadium du sol et qu'ils pourraient fournir du vanadium aux plantes. Berrow et coll. (1978) ont suggéré que dans certains horizons des podzols, le rôle des minéraux argileux et des acides organiques dans l'atténuation du

vanadium est plus important que celui des oxydes ferreux dans l'adsorption d'une fraction de vanadium. Selon ces auteurs, le cation vanadyle (VO₂⁺) peut être une forme importante de vanadium dans plusieurs sols et provient possiblement de la réduction de l'anion métavanadate (VO₃⁻). Goodman et Cheshire (1975) et Bloomfield (1981) déclarent qu'une grande partie du vanadium du sol, surtout le cation vanadyle, est mobilisé sous forme de complexes avec les acides humiques, alors que les formes anioniques du vanadium (p. ex., anion orthovanadate VO₄³⁻; anion métavanadate, VO₃⁻) sont reconnues comme étant mobiles dans les sols et relativement plus toxiques pour le microbiote du sol.

Comportement et effets chez le biote

Processus microbiens des sols

Il y a des indications suggérant que le vanadium soit un catalyseur spécifique de la fixation d'azote et qu'il puisse partiellement substituer le molybdène (Mo) pour cette fonction (Kabata-Pendias et Pendias, 1992). Yopp et coll. (1974) ont observé que la fixation d'azote par les bactéries dans les nodules des racines de plusieurs légumineuses était stimulée par de petites concentrations de vanadium dans le sol.

Liang et Tabatabai (1978) ont déterminé qu'une concentration de 255 mg de V·kg⁻¹ de sol entraîne une réduction de 62 % de la nitrification à un pH de 5,8. À un pH de 7,8, 255 mg de V·kg⁻¹ de sol n'induit que 12 % de réduction de la nitrification.

Wilke (1989) a aussi étudié les effets du vanadium sur la nitrification et la minéralisation de l'azote. Il n'a observé aucune inhibition de la nitrification à 100 et 400 mg de V·kg⁻¹. D'ailleurs, la nitrification a augmenté de 9 et 20 % respectivement. La minéralisation de l'azote fut réduite de 7 % à une concentration de 400 mg·kg⁻¹.

Les effets du sulfate vanadyle sur la respiration dans le sol ont été examinés par Lighthart et coll. (1983) au cours d'une étude en microcosme d'une durée de 45 j impliquant quatre sols différents. En réalité, la respiration, mesurée en CO₂ libéré, a augmenté de 5 et 10 % dans deux sols à la plus faible concentration de sulfate vanadyle (2,55 mg de V·kg⁻¹). Les réductions de respiration variaient entre 7 et 40 % pour les quatre sols aux trois autres concentrations de sulfate de vanadyle (25,5, 255, et 2550 mg de V·kg⁻¹).

Plantes terrestres

Le vanadium a été reconnu comme étant un élément essentiel chez certaines espèces d'algues vertes (Arnon et Wessel, 1953), mais il n'existe pas d'indications concluantes pour supporter qu'il soit essentiel chez les plantes supérieures (Welch et Huffman, 1973; Morrell et coll., 1986; Kabata-Pendias et Pendias, 1992).

Le vanadium soluble dans le sol semble être facilement absorbé par les racines. Quelques espèces de plantes ont démontré une grande capacité d'accumulation de ce métal, notamment certains bryophytes et champignons (Kabata-Pendias et Pendias, 1992).

En général, les plantes supérieures ne bioaccumulent pas le vanadium de façon importante. Welch et Cary (1975) ont observé une accumulation de vanadium dans les céréales et légumes croissant dans des solutions de nutriments, mais ont conclu que les taux de bioaccumulation étaient très faibles compte tenu de la forte concentration de vanadium dans la solution. De la même façon, Cary et coll. (1983) ont remarqué que la teneur en vanadium de plusieurs légumes cultivés dans un sol amendé aux cendres de charbon (14,5 mg de V·kg⁻¹) était inférieure ou égale à la teneur en vanadium des plants témoins. En moyenne, la concentration de vanadium dans les plantes correspond à un dixième de la concentration dans le sol; ainsi, les plantes en général ont un FBC du sol de 0,1 pour le vanadium (Cannon, 1963; van Zinderer Bakker and Jaworski, 1980; OMS, 1988).

Kaplan et coll. (1990) ont mené des études en laboratoire et en serre pour évaluer les effets du vanadium sur la germination des graines et sur la croissance des racines de chou (*Brassica oleracea*). La présence de vanadium n'a eu aucun effet nocif sur la germination des semences de chou pour des concentrations atteignant 75 mg·L⁻¹. Cependant, une concentration de 1 mg·L⁻¹ a augmenté la longueur des racines de 51,7 % alors qu'une concentration de 3 mg·L⁻¹ a significativement réduit l'allongement des racines de 53 %.

Dans leur étude en serre, Kaplan et coll. (1990) ont trouvé que les concentrations de vanadium dans les tissus, ainsi que la toxicité pour le chou (*Brassica oleracea*), variaient selon le type de sol. Dans un sol sableux, une réduction significative de 24 % de la biomasse est survenue après 98 j à 80 mg·kg⁻¹. Dans le cas des sols sableux glaiseux, aucune diminution significative a été détectée à 100 mg V·kg⁻¹. Kaplan et coll. (1990) attribuent la toxicité accrue dans le sol sableux à une accumulation considérablement plus élevée de vanadium par les plantes.

Les différences dans les propriétés physiques et chimiques de ces deux sols sont vraisemblablement responsables pour les quantités variables de vanadium accumulées par les plantes pour un niveau de traitement donné.

Environnement Canada (1995) a étudié les effets du pentoxyde de vanadium (V₂O₅) sur l'émergence des semis de radis (*Raphanus sativa*) et de laitue (*Lactuca sativa*) cultivés dans un sol artificiel. Les valeurs des CSEO, CME0, CE₂₅, et CE₅₀ 3 j pour l'émergence des semis de radis étaient de 200, 410, 330, et 580 mg de V·kg⁻¹, respectivement. Les valeurs des CSEO, CME0, CE₂₅ et CE₅₀ 5 j pour l'émergence des semis de laitue étaient de 55, 127, 134 et 251 mg V·kg⁻¹, respectivement. Les valeurs de CME0 correspondent à des diminutions d'émergence des semis de 33 % pour le radis et 29 % pour la laitue.

Invertébrés terrestres

Il existe très peu d'informations sur les processus métaboliques du vanadium chez les invertébrés terrestres.

Les données de toxicité du vanadium pour les invertébrés du sol sont presque inexistantes, tout comme les données de toxicité pour les microbes du sol. Dans la seule étude disponible, Environnement Canada (1995) a rapporté les effets du pentoxyde de vanadium (V₂O₅) sur le ver de terre *Eisenia foetida* dans un sol artificiel. Les valeurs de CSEO, CL₂₅, CL₅₀, et CME0 étaient de 210, 290, 370, et 410 mg V·kg⁻¹, respectivement.

Animaux d'élevage et faune sauvage

Les animaux sont susceptibles d'être affectés par la déficience ou la surexposition au vanadium. Berg (1963) a démontré une réduction de 21 % de la masse corporelle chez les poulets ayant comme alimentation de la moulée contenant 15 mg de V·kg⁻¹. Puls (1988) a observé que la déficience en vanadium ne semble pas survenir en conditions normales d'élevage chez le bétail, mais qu'une dose de 10 à 20 mg de V·kg⁻¹ de masse corporelle par jour dans le régime alimentaire était toxique.

Élaboration des recommandations

Les recommandations canadiennes pour la qualité des sols sont élaborées en fonction de différentes utilisations des terrains selon la procédure décrite dans CCME (1996a) à partir de différents récepteurs et scénarios d'exposition

propres à chaque utilisation des terrains (tableau 1). Les détails méthodologiques de l'élaboration des recommandations pour la qualité des sols concernant le vanadium sont présentées dans Environnement Canada (1996).

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

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

Pour toutes les utilisations de terrain, la valeur préliminaire relative au contact avec le sol (aussi appelée concentration seuil produisant un effet [CSE] ou plus faible concentration produisant un effet [PFCE], selon la vocation du terrain) est comparée à la vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie. Si la valeur résultant de la vérification portant sur les cycles des nutriments et de l'énergie est inférieure à la valeur préliminaire relative au contact avec le sol, la moyenne géométrique de ces valeurs est calculée comme recommandation pour la qualité des sols concernant le contact avec le sol. Si la valeur résultant de cette vérification est supérieure à la valeur préliminaire, cette dernière devient la recommandation liée au contact avec le sol.

Pour les terrains à vocation agricole, la valeur la plus faible entre la recommandation liée au contact avec le sol et la recommandation relative à l'ingestion de sol et de nourriture est recommandée comme RQS_E .

Pour les terrains à vocation résidentielle/parc et à vocation commerciale, la recommandation liée au contact avec le sol devient la RQS_E .

Pour les terrains à vocation industrielle, la valeur la plus faible entre la recommandation liée au contact avec le sol et la vérification portant sur la migration hors-site est recommandée comme RQS_E .

En ce qui concerne le vanadium, la RQS_E est fondée sur les recommandations relatives au contact avec le sol pour toutes les utilisations de terrains.

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

Il n'y a aucune recommandation ni valeur de vérification disponible présentement, pour la protection de la santé humaine (tableau 2).

**Recommandations pour la qualité des sols
concernant le vanadium**

Les recommandations pour la qualité des sols sont les valeurs les plus faibles entre les RQS_E et les critères provisoires de qualité des sols existants (CCME, 1991).

Pour toutes les utilisations de terrain, la RQS_E est inférieure au critère provisoire de qualité des sols existant (CCME, 1991). C'est pourquoi, la recommandation pour la qualité des sols remplace les critères provisoires de qualité des sols (CCME, 1991) pour toutes les utilisations de terrain.

On trouvera dans le document du CCME (1996b) des conseils sur les modifications qui peuvent être apportées à la recommandation proposée pour la qualité des sols lors de l'établissement d'objectifs particuliers à chaque site.

Références

- API (American Petroleum Institute). 1985. Vanadium: Environmental and community health impact. Préparé par EA Engineering, Science, and Technology Inc., Washington, DC.
- Arnon, D.I. et G. Wessel. 1953. Vanadium as an essential element for green plants. *Nature* 172:1039-1040.
- Berg, L.R. 1963. Evidence of vanadium toxicity resulting from the use of certain commercial phosphorus supplements in chick rations. *Poult. Sci.* 42:766-769.
- Berrow, M.L., M.J. Wilson et G.A. Reaves. 1978. Origin and extractable titanium and vanadium in the A horizons of Scottish podzols. *Geoderma* 21:89.
- Bloomfield, C. 1981. The translocation of metals in soils, dans *The chemistry of soil processes*, D.J. Greenland et M.H.B. Hayes, éd. John Wiley and Sons, New York.
- Brooks, R.R. 1972. *Geobotany and biogeochemistry of mineral exploration*. Harper and Row Publishers, New York.
- Cannon, H.L. 1963. The biogeochemistry of vanadium. *Soil Sci.* 96:196-204.
- Cary, E.E., M. Gilbert, C.A. Bache, W.H. Gutenmann et D.J. Lisk. 1983. Elemental composition of potted vegetables and millet grown on hard coal bottom ash-amended soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 31:418-423.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1991. Critères provisoires canadiens de qualité environnementale pour les lieux contaminés. CCME, Winnipeg.
- . 1993. Guide pour l'échantillonnage, l'analyse des échantillons et la gestion des données des lieux contaminés. Vol. II, Sommaire des méthodes d'analyse. CCME, Winnipeg.
- . 1996a. Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine. CCME, Winnipeg. [Un résumé du protocole figure au

Tableau 2. Recommandations pour la qualité des sols et résultats des calculs de vérification concernant le vanadium ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Recommandations	Vocation du terrain			
	Agricole	Résidentielle/ parc	Commerciale	Industrielle
	130 ^a	130 ^a	130 ^b	130 ^b
Recommandations pour la protection de la santé humaine/résultats des calculs de vérification ^c				
RQS _{SH}	NC	NC	NC	NC
Recommandation relative à l'ingestion de sol	NC	NC	NC	NC
Vérification : inhalation de l'air intérieur	NC	NC	NC	NC
Vérification : migration hors-site	—	—	—	NC
Vérification : nappe phréatique (eau potable)	NC	NC	NC	NC
Vérification : produits agricoles, viande et lait	NC	NC	—	—
RQS _{SH} provisoire	NC	NC	NC	NC
Voie limitant la RQS _{SH} provisoire	ND	ND	ND	ND
Recommandations pour la protection de l'environnement/résultats des calculs de vérification				
RQS _E	130 ^d	130 ^d	130 ^d	130 ^d
Recommandation relative au contact avec le sol	130	130	130	130
Recommandation relative à l'ingestion de sol et de nourriture	NC ^e	—	—	—
Vérification : cycles des nutriments et de l'énergie	255	255	255	255
Vérification : migration hors-site	—	—	—	830
Vérification : nappe phréatique (vie aquatique)	NC ^f	NC ^f	NC ^f	NC ^f
RQS _E provisoire	NC ^g	NC ^g	NC ^g	NC ^g
Voie limitant la RQS _E provisoire	ND	ND	ND	ND
Critère provisoire de qualité des sols (CCME, 1991)	200	200	aucun	aucun

Notes : NC = non calculée; ND = non déterminée; RQS_E = recommandation pour la qualité des sols : environnement; RQS_{SH} = recommandation pour la qualité des sols : santé humaine. Le tiret représente une recommandation ou un résultat des calculs de vérification qui ne fait pas partie du scénario d'exposition pour cette utilisation du terrain et qui, par conséquent, n'a pas été calculé.

^aLes données sont suffisantes et adéquates pour calculer une RQS_E. Elle est inférieure au critère provisoire correspondant de qualité des sols (CCME, 1991). C'est pourquoi la recommandation pour la qualité des sols remplace le critère provisoire de qualité des sols pour cette utilisation du terrain.

^bLes données ne sont suffisantes et adéquates que pour calculer une RQS_E seulement. Aucun critère de qualité des sols (CCME, 1991) n'a été établi pour cette utilisation du milieu. Par conséquent, la RQS_E devient la recommandation pour la qualité des sols.

^cIl n'y a présentement aucune valeur pour la santé humaine.

^dLa RQS_E est fondée sur la recommandation relative au contact avec le sol.

^eLes données sont insuffisantes ou inadéquates pour calculer cette recommandation pour cette utilisation du terrain.

^fS'applique aux composées organiques et n'est pas calculée pour les contaminants métalliques. Les préoccupations suscitées par les contaminants métalliques à un lieu donné seront examinées cas par cas.

^gComme les données sont suffisantes et adéquates pour calculer une RQS_E pour cette utilisation du terrain, aucune RQS_E provisoire n'est calculée.

- chapitre 7 des Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999, Winnipeg.]
- . 1996b. Document d'orientation sur l'établissement d'objectifs particuliers à un terrain en vue d'améliorer la qualité du sol des lieux contaminés au Canada. CCME, Winnipeg. [Repris dans les Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, chapitre 7, Conseil canadien des ministres de l'environnement, 1999, Winnipeg.]
- Énergie, Mines et Ressources Canada. 1990. 1990 Annuaire des minéraux du Canada 1990 : Aperçu et perspectives. Rapport minéral 39. Ottawa.
- Environnement Canada. 1995. Toxicity testing of National Contaminated Sites Remediation Program priority substances for the development of soil quality criteria for contaminated sites. Service de la conservation de l'environnement, Direction de l'évaluation et de l'interprétation, Division des recommandations, Ottawa. Inédit.
- . 1996. Canadian soil quality guidelines for vanadium: Environmental. Supporting document — Final draft. December 1996. Direction de la qualité de l'environnement et de la politique scientifique, Division des recommandations, Ottawa.
- Goodman, B.A. et M.V. Chesire. 1975. The bonding of vanadium in complexes with humic acid, and electron paramagnetic study. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39:1711.
- Kabata-Pendias, A. et H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. 2^e éd. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kaplan, D.L., K.S. Sajwan, D.C. Adriano et S. Gettier. 1990. Phytoavailability and toxicity of beryllium and vanadium. *Water Air Soil Pollut.* 53:203–212.
- Lagerkvist, B., G.F. Nordberg et V. Vouk. 1986. Vanadium, dans *Handbook on the toxicology of metals*. 2^e éd. L. Friberg, G.F. Nordberg et V. Vouk, éd. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Liang, C.N. et M.A. Tabatabai. 1978. Effects of trace elements on nitrification in soils. *J. Environ. Qual.* 7:291–293.
- Lighthart, B., J. Baham et V.V. Volk. 1983. Microbial respiration and chemical speciation in metal-amended soils. *J. Environ. Qual.* 12:543–548.
- MEEO (Ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario). 1993. Ontario typical range of chemical parameters in soil, vegetation, moss bags and snow. Version 1.0a. PIBS 2792. Division de l'élaboration des normes, Section de phytotoxicologie, Toronto.
- Morrell, B.G., N.W. Lepp et D.A. Phipps. 1986. Vanadium uptake by higher plants: Some recent developments. *Environ. Geochem. Health* 8:14–18.
- Norrish, K. 1975. The geochemistry and mineralogy of trace elements, dans *Trace elements in soil-plant-animal systems*, D.J.D. Nicholas et A.R. Egan, éd. Academic Press, New York.
- OMS (Organisation mondiale de la santé). 1988. Vanadium. Critère d'hygiène de l'environnement 81. Genève.
- Puls, R. 1988. Mineral levels in animal health: Diagnostic data. Sherpa International, Clearbrook, BC.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1987. Health effects assessment for vanadium and compounds. PB88-176383. Environment Criteria and Assessment Office, Office of Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- van Zinderen Bakker, E.M. et J.F. Jaworski. 1980. Les effets du vanadium dans l'environnement canadien. Conseil national de recherches du Canada, Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Sous-comité des métaux lourds et de certains autres éléments. CNRC n° 18133.
- Welch, R.M. et E.E. Cary. 1975. Concentration of chromium, nickel, and vanadium in plant materials. *J. Agric. Food Chem.* 23:479.
- Welch, R. M. et D. Huffman. 1973. Vanadium and plant nutrition. *Plant Physiol.* 52:183–185.
- Wilke, B.M. 1989. Long-term effects of different inorganic pollutants on nitrogen transformations in a sandy cambisol. *Biol. Fertil. Soils* 7:254–258.
- Yopp, J.H., W.E. Schmid et R.W. Holst. 1974. Determination of maximum permissible levels of selected chemicals that exert toxic effects on plants of economic importance in Illinois. IIEQ Doc. n° 74-33. Préparé pour the Illinois Institute for Environmental Quality, Chicago.
- Zenz, C. 1980. Vanadium, dans *Metals in the environment*, H.R. Waldron, éd. Academic Press, New York.

Ce feuillet d'information a initialement été publié dans le document de travail intitulé « Recommandations canadiennes pour la qualité des sols » (Conseil canadien des ministres de l'environnement, mars 1997, Winnipeg). Il a été revu et édité avant d'être présenté ici.

Comment citer ce document :

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine — vanadium (1997), 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 : spccme@chc.gov.mb.ca