



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

APPROCHE DE GESTION DES RISQUES PROPOSÉE

pour l'

Oxyde de divanadium

(Pentaoxyde de divanadium)

Numéro de registre du Chemical Abstracts Service (CAS) :
1314-62-1

Environnement Canada
Santé Canada

Septembre 2010

Canada 

Table des matières

1. CONTEXTE	3
1.1 CATÉGORISATION ET DÉFI À L'INDUSTRIE ET À D'AUTRES PARTIES INTÉRESSÉES	3
1.2 CONCLUSION DU RAPPORT FINAL D'ÉVALUATION PRÉALABLE VISANT LE PENTAOXYDE DE DIVANADIUM	4
1.3 GESTION DES RISQUES PROPOSÉE	5
2. HISTORIQUE	5
2.1 RENSEIGNEMENTS SUR LA SUBSTANCE	5
3. POURQUOI DEVONS-NOUS PRENDRE DES MESURES?	6
3.1 CARACTÉRISATION DES RISQUES	6
4. UTILISATIONS ACTUELLES ET SECTEURS INDUSTRIELS	8
5. PRÉSENCE DANS L'ENVIRONNEMENT AU CANADA ET SOURCES D'EXPOSITION	9
5.1 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT	9
5.2 SOURCES D'EXPOSITION	10
6. APERÇU DES MESURES EXISTANTES	12
6.1 GESTION DES RISQUES EXISTANTE AU CANADA	12
6.2 GESTION DES RISQUES EXISTANTE À L'ÉTRANGER	13
7. CONSIDÉRATIONS	13
7.1 SUBSTANCES CHIMIQUES DE REMPLACEMENT OU SUBSTITUTS	13
7.2 TECHNOLOGIES ET/OU TECHNIQUES DE REMPLACEMENT	13
7.3 CONSIDÉRATIONS SOCIOÉCONOMIQUES	14
7.4 EXPOSITION DES ENFANTS	15
8. OBJECTIFS PROPOSÉS	15
8.1 OBJECTIF EN MATIÈRE DE SANTÉ HUMAINE	15
8.2 OBJECTIF DE GESTION DES RISQUES	15
9. GESTION DES RISQUES PROPOSÉE	15
9.1 RÈGLEMENT ET INSTRUMENT(S) DE GESTION DES RISQUES PROPOSÉS	16
9.2 PLAN DE MISE EN ŒUVRE	16
10. APPROCHE DE CONSULTATION	17
11. PROCHAINES ÉTAPES ET ÉCHÉANCIER PROPOSÉ	17
12. RÉFÉRENCES	18

La présente approche de gestion des risques proposée s'appuie sur le cadre de gestion des risques publié précédemment pour le pentaoxyde de divanadium et donne un aperçu des mesures de contrôle proposées pour cette substance. Les parties intéressées sont invitées à soumettre leurs commentaires sur le contenu de cette approche de gestion des risques proposée ou à fournir tout autre renseignement qui pourrait éclairer la prise de décision. À la suite de cette période de consultation, le gouvernement du Canada lancera, si nécessaire, l'élaboration d'un instrument ou d'instruments de gestion des risques spécifiques, ou encore d'un ou de plusieurs règlements. Les commentaires reçus quant à l'approche de gestion des risques proposée seront pris en considération dans le cadre de l'élaboration de cet ou ces instruments ou règlements, durant laquelle des consultations auront également lieu.

RÉSUMÉ DE LA GESTION DES RISQUES PROPOSÉE

1. Réduction des rejets de pentaoxyde de divanadium par l'entremise des programmes actuels et proposés visant à diminuer les émissions de matières particulaires qui proviennent de la combustion de certains combustibles fossiles.
2. Le gouvernement du Canada prévoit appliquer les dispositions de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* [LCPE (1999)] sur les nouvelles activités pour le pentaoxyde de divanadium.
3. Il est proposé d'ajouter le pentaoxyde de divanadium à la liste du *Règlement sur les urgences environnementales*.

Note: Ce résumé est une liste abrégée des instruments et des outils proposés pour gérer les risques liés à cette substance. Veuillez vous reporter à la section 9.1 du présent document pour obtenir une explication complète de la gestion des risques proposée.

1. CONTEXTE

1.1 Catégorisation et Défi à l'industrie et à d'autres parties intéressées

En vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)* [LCPE (1999)], (Canada, 1999) le ministre de l'Environnement et le ministre de la Santé (les ministres) doivent classer par catégories les substances inscrites sur la *Liste intérieure des substances* (LIS). Cette catégorisation consiste à identifier les substances de la LIS qui, conformément aux critères de l'article 73 de la loi : a) sont jugées persistantes (P) et/ou bioaccumulables (B), selon les critères énoncés dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation* (Canada, 2000), et qui présentent une toxicité intrinsèque pour les humains ou d'autres organismes, ou b) présentent, pour la population du Canada, le plus fort risque d'exposition. Les ministres doivent également effectuer une évaluation préalable de chaque substance satisfaisant aux critères de cette catégorisation. L'évaluation permet de déterminer plus précisément si la substance satisfait à un ou à plusieurs des critères définis à l'article 64 de la Loi¹.

¹ La détermination de la conformité à l'un ou plusieurs des critères énoncés à l'article 64 est basée sur une évaluation des risques pour l'environnement et/ou la santé humaine liés aux expositions dans l'environnement en général. Pour les humains, cela inclut notamment les expositions par l'air ambiant et intérieur, l'eau potable, les produits alimentaires et l'utilisation de produits de consommation. Une conclusion établie en vertu de la LCPE (1999) portant sur les substances énumérées dans les lots 1 à 12 du Plan de gestion des produits chimiques n'est pas pertinente à

En décembre 2006, le Défi a permis d'identifier 193 substances chimiques au moyen de la catégorisation; ces substances sont devenues d'intérêt prioritaire aux fins d'évaluation en raison de leurs propriétés dangereuses et de leur potentiel de risque pour la santé humaine et l'environnement. En février 2007, les ministres ont commencé à publier des profils des lots comportant de 12 à 19 substances hautement prioritaires aux fins de commentaires par l'industrie et par les parties intéressées. De nouveaux lots sont publiés tous les trois mois aux fins de commentaires.

Le pouvoir de collecte d'information prévu à l'article 71 de la LCPE (1999) est utilisé dans le cadre du Défi pour rassembler des renseignements particuliers là où il se doit. Ces renseignements qui sont recueillis au moyen du Défi seront utilisés pour prendre des décisions éclairées et gérer comme il se doit tout risque qui pourrait être associé aux substances.

L'oxyde de divanadium, numéro du registre du Chemical Abstracts Service (CAS)² 1314-62-1, appelé « pentaoxyde de divanadium » dans le présent document, est inclus dans le neuvième lot du Défi conformément au Plan de gestion des produits chimiques. Pour des raisons de clarté, la substance sera dénommée pentaoxyde de divanadium dans cette Approche de gestion des risques proposée, alors même que son nom sur la *Liste intérieure des substances* est l'oxyde de divanadium.

1.2 Conclusion du rapport final d'évaluation préalable visant le pentaoxyde de divanadium

Le 18 septembre 2010, Environnement Canada et Santé Canada ont publié dans la Partie I de la *Gazette du Canada* un avis résumant les considérations scientifiques énoncées dans le rapport final d'évaluation préalable visant le pentaoxyde de divanadium, conformément au paragraphe 77(6) de la LCPE (1999). Le rapport final d'évaluation préalable a conclu que le pentaoxyde de divanadium ne pénètre pas dans l'environnement en une quantité ou concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie.

Compte tenu de la cancérogénicité du pentaoxyde de divanadium, qui pourrait entraîner des effets nocifs à tout niveau d'exposition, il est proposé que cette substance soit considérée comme une substance pouvant pénétrer dans l'environnement en une quantité, à une concentration ou dans des conditions de nature à constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaines.

une évaluation, qu'elle n'empêche pas non plus, par rapport aux critères de danger définis dans le *Règlement sur les produits contrôlés*. Ce dernier fait partie du cadre réglementaire applicable au Système d'information sur les matières dangereuses au travail pour les produits destinés à être utilisés au travail.

² CAS représente le numéro d'enregistrement du Chemical Abstracts Service. Les informations du Chemical Abstracts Service sont la propriété de l'American Chemical Society. Toute utilisation ou redistribution, sauf si elle sert à répondre aux besoins législatifs et/ou est nécessaire pour les rapports au gouvernement du Canada lorsque des informations ou des rapports sont exigés par la loi ou une politique administrative, est interdite sans l'autorisation écrite préalable de l'American Chemical Society.

Le rapport final d'évaluation préalable a également conclu que le pentaoxyde de divanadium satisfait aux critères de persistance, mais ne satisfait pas aux critères de bioaccumulation définis dans le *Règlement sur la persistance et la bioaccumulation*, pris en application de la LCPE (1999). La présence de pentaoxyde de divanadium dans l'environnement résulte principalement de l'activité humaine.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les conclusions du rapport final d'évaluation préalable visant le pentaoxyde de divanadium, veuillez consulter le texte intégral du rapport à l'adresse <http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca/challenge-defi/batch-lot-9/index-fra.php>.

1.3 Gestion des risques proposée

À la suite d'une évaluation préalable d'une substance effectuée en application de l'article 74 de la LCPE (1999), il peut être conclu que la substance satisfait à un ou à plusieurs critères énoncés à l'article 64 de la LCPE (1999). Les ministres peuvent proposer de ne rien faire à l'égard de cette substance, de l'inscrire sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire en vue d'une évaluation plus approfondie, ou encore de recommander son inscription à la Liste des substances toxiques de l'annexe 1 de la Loi. Dans certaines circonstances, les ministres doivent faire une proposition spécifique de recommander la mise en œuvre d'une quasi-élimination. Dans le cas présent, les ministres proposent de recommander l'ajout du pentaoxyde de divanadium à la Liste des substances toxiques de l'annexe 1. Par conséquent, ils devront élaborer un projet de texte – règlement ou autre – concernant les mesures de prévention ou de contrôle à prendre pour protéger la santé des Canadiens ainsi que l'environnement contre les effets possibles d'une exposition à cette substance.

Le pentaoxyde de divanadium n'est pas visé par les dispositions de quasi-élimination de la LCPE (1999) et sera géré à l'aide d'une approche du cycle de vie afin de prévenir ou de réduire au minimum son rejet dans l'environnement.


2. HISTORIQUE

2.1 Renseignements sur la substance

Le pentaoxyde de divanadium fait partie du groupe des produits chimiques organiques définis ainsi que du sous-groupe des oxydes.

Le tableau 1 présente les autres noms, les noms commerciaux, les groupes chimiques, la formule chimique, la structure chimique et la masse moléculaire du pentaoxyde de divanadium.

Tableau 1. Identité du pentaoxyde de divanadium

Numéro de registre du Chemical Abstracts Service (n° CAS)	1314-62-1
Nom dans la LIS	Pentaoxyde de divanadium
Noms relevés dans les National Chemical Inventories (NCI)	Vanadium oxide (AICS, ASIA-PAC, NZIoC, PICCS, SWISS, TSCA) Divanadium pentaoxide (ECL, EINECS) Vanadium pentoxide (ENCS, PICCS)
Autres noms	C.I. 77938; pentoxide de divanadium; pentaodivanium; shcherbinaite ¹ ; UN 2862; UN 2862 (DOT); vanadia; anhydride vanadique; oxyde de vanadium (V ₄ O ₁₀); oxyde de vanadium(V)
Groupe chimique (groupe de la LIS)	Produits chimiques inorganiques définis
Principale classe chimique ou utilisation	Composés inorganiques contenant du vanadium
Principale sous-classe chimique	Oxydes
Formule chimique	V ₂ O ₅
Structure chimique	
SMILES	O=[V](=O)O[V](=O)=O
Masse moléculaire	181,9 g/mol

Abréviations : AICS (inventaire des substances chimiques de l'Australie); ASIA-PAC (listes des substances de l'Asie-Pacifique; CAS (numéro de registre du Chemical Abstracts Service); LIS (liste intérieure des substances); ECL (liste des substances chimiques existantes de la Corée); EINECS (Inventaire européen des substances chimiques commerciales existantes); ENCS (inventaire des substances chimiques existantes et nouvelles du Japon); NCI (National Chemical Inventories); NZIoC (inventaire des substances chimiques de la Nouvelle-Zélande); PICCS (inventaire des produits et substances chimiques des Philippines); SMILES (simplified molecular input line entry specification); SWISS (liste des toxiques 1 et inventaire des nouvelles substances notifiées de la Suisse) et TSCA (inventaire des substances chimiques visées par la *Toxic Substances Control Act*).

¹ Hughes et Finger (1983).

Source : NCI (2006)

3. POURQUOI DEVONS-NOUS PRENDRE DES MESURES?

3.1 Caractérisation des risques

L'évaluation des risques pour la santé humaine tient compte des données utiles à l'évaluation de l'exposition de la population générale (exposition non professionnelle) et de l'information sur les dangers pour la santé.

En s'appuyant principalement sur des évaluations du poids de la preuve réalisées par des organismes internationaux et nationaux (NTP, 2002; Ress *et al.*, 2003; IARC, 2006), on considère que la cancérogénicité constitue un effet critique pour la caractérisation du risque que présente le pentaoxyde de divanadium pour la santé humaine. Une augmentation importante du nombre de tumeurs pulmonaires a été observée dans tous les groupes de souris mâles et femelles exposés à cette substance par inhalation. Chez les rats mâles, l'incidence de carcinomes pulmonaires ainsi que d'adénomes et de carcinomes combinés dépassait la plage des témoins historiques à 0,5 et 2,0 mg/m³. Une génotoxicité a été observée dans les cellules de mammifères lors d'essais *in vivo* et *in vitro* avec le pentaoxyde de divanadium. Bien que les modes d'action induisant des tumeurs chez les souris n'aient pas été entièrement élucidés, selon le poids de la preuve de la cancérogénicité et de la génotoxicité du pentaoxyde de divanadium, on ne peut exclure que les tumeurs observées puissent être le résultat d'une interaction directe de cette substance avec le matériel génétique.

Parmi les autres effets observés, les effets sur les voies respiratoires étaient les principaux effets indésirables liés à une exposition par inhalation. La concentration minimale avec effet nocif observé (CMENO) chez les rats dans le cas d'une exposition chronique (0,5 mg/m³) a été sélectionnée comme niveau d'effet critique pour les effets non cancéreux associés à l'inhalation répétée d'une dose de la substance, niveau mesuré d'après l'augmentation de l'incidence des inflammations, des fibroses et des hyperplasies dans les voies respiratoires (poumons, larynx et nez) chez les rats mâles et femelles pendant une période de 2 ans. Cette CMENO a été également sélectionnée par l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry des États-Unis (ATSDR, 2009) comme niveau d'effet critique, ce qui amené l'ATSDR à choisir l'étude sur l'exposition chronique des rats réalisée par le NTP (2002) comme fondement pour estimer les niveaux d'exposition chronique au vanadium par inhalation qui représentent un risque minimal pour les humains. Il est probable que les effets irritants liés à l'inhalation de pentaoxyde de divanadium serviront à établir des limites d'exposition à la suite d'une exposition ayant causé une irritation aiguë.

Selon les études sur l'exposition par voie orale, la dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) pour une exposition subchronique au pentaoxyde de divanadium ou au métavanadate de sodium se situait dans la plage de 0,25 à 0,30 mg/kg p.c. par jour. Cette plage de doses a donné lieu à une phagocytose chez les rats mâles dans le cadre d'une étude de 6 mois. Des changements histologiques ont également été notés dans la rate, les reins et les poumons de ces derniers après une exposition de 3 mois. Pour ce qui est de l'exposition à court terme, la DMENO la plus faible par voie orale était de 3,7 mg/kg p.c. par jour d'après les altérations histologiques et enzymatiques observées dans le foie et les reins des rats mâles exposés pendant 3 semaines. Aucune étude sur l'exposition par voie orale à long terme n'a été relevée dans la littérature scientifique.

Les estimations de l'absorption quotidienne de pentaoxyde de divanadium par la population générale ont été obtenues à partir des concentrations de vanadium mesurées dans les milieux naturels et la nourriture. Selon les concentrations rapportées de vanadium dans l'environnement et des plus petites contributions qui proviennent des aliments, les valeurs estimatives de la limite supérieure de l'apport quotidien de pentaoxyde de divanadium varient de 1,01 à 5,58 µg/kg p.c. par jour pour la population générale du Canada (Canada, 2010a). L'ingestion de sol représentait une source importante d'exposition pour la plupart des groupes d'âge. Par exemple, chez les enfants âgés de 6 mois à 4 ans, l'ingestion de sol représentait environ 71 % de l'exposition totale au vanadium. Puisqu'une proportion importante de vanadium est naturellement présente dans ce

milieu naturel et dans la nourriture, et que la spéciation est inconnue, il n'a pas été jugé pertinent d'établir des marges d'exposition entre les estimations d'exposition et le niveau d'effet critique obtenu à la suite de l'administration par voie orale de cette substance aux rats.

On considère que la principale source de pentaoxyde de divanadium dans l'air est la combustion de combustibles fossiles. Certaines données indiquent que des tumeurs sont induites chez les rats à la suite d'une exposition par inhalation à une concentration à effet critique non néoplasique (0,5 mg/m³). Par conséquent, aucune marge d'exposition n'a été calculée, étant donné qu'on estime qu'il existe une probabilité d'effets néfastes quel que soit le niveau d'exposition.

4. UTILISATIONS ACTUELLES ET SECTEURS INDUSTRIELS

Le pentaoxyde de divanadium est principalement utilisé dans le monde comme composant de formulation dans la production d'alliages métalliques, en particulier le ferrovanadium, et comme catalyseur dans la fabrication d'acide sulfurique (Perron, 2001). Il est également utilisé comme catalyseur pour produire de l'anhydride maléique utilisé dans la fabrication de résines de polyester et de résine alkyde, (Haber, 2009), comme électrolyte dans les batteries redox au vanadium (Magyar, 2003) et comme pigment dans la production de céramique et de verre (Motolese *et al.*, 1993; Moskalyk et Alfantazi, 2003; Vanitec, 2009). Le pentaoxyde de divanadium est un additif qui peut être présent à des concentrations allant jusqu'à 1 % dans le verre de tellurite résistant au rayonnement ultraviolet (El-Mallawany, 2001). Il peut être mélangé à des oxydes de tungstène, de titane et de silicium, ainsi qu'à d'autres éléments en diverses quantités afin de conférer d'autres propriétés au verre (Blume et Drummond, 2002; Kaoua *et al.*, 2007). Il peut aussi servir à la réduction catalytique des émissions industrielles de soufre et d'oxydes d'azote (Hagerman et Faust, 1955; Vanitec, 2009). De plus, il est présent de façon naturelle dans les engrais phosphatés en raison de la transformation des roches phosphatées (Mortvedt et Beaton, 1995).

Selon l'information obtenue aux termes de l'article 71 de la LCPE (1999), entre 1 000 000 et 10 000 000 kg de pentaoxyde de divanadium ont été utilisés au Canada en 2006 (Environnement Canada, 2009). La majorité de cette substance (92 %) a été utilisée dans la production d'alliages de ferrovanadium destinés à la fabrication d'acier trempé. Le pentaoxyde de divanadium a également été largement utilisé comme catalyseur, notamment pour la production d'acide sulfurique à des concentrations de 3 à 9 %, pour le craquage catalytique à une concentration d'environ 0,03 % et pour la réduction catalytique sélective des émissions de soufre et d'oxydes d'azote provenant de centrales électriques à une concentration allant jusqu'à 1 % (Environnement Canada, 2009). Au Canada, pour l'année 2006, on a déclaré des utilisations mineures du pentaoxyde de divanadium comme agent oxydant et aux fins de protection contre la corrosion. Une quantité de 38 300 kg de pentaoxyde de divanadium a été utilisée en 2006 dans la fabrication d'engrais chimiques, et une quantité de 24 900 kg (présente dans l'alumine) a été utilisée dans la production d'aluminium. Dans ce dernier cas, une certaine quantité de vanadium, vraisemblablement sous la forme de pentaoxyde de divanadium, serait naturellement présente dans l'alumine (Environnement Canada, 2009).

La présence de pentaoxyde de divanadium a précédemment été relevée en tant qu'ingrédient médicinal dans deux produits pharmaceutiques finaux figurant dans la Base de données sur les produits chimiques (BDPP), chacun d'eux contenant un total de 5 µg de pentaoxyde de

divanadium par comprimé (BDPP, 2010). Par contre, ces produits ne sont plus offerts sur le marché (BDPP, 2010). Le pentaoxyde de divanadium figure dans la base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels, mais aucun rôle, médicinal ou non médicinal, ne lui est attribué (BDIPSN, 2010). Cette base de données précise que l'utilisation du pentaoxyde de divanadium dans les produits de santé naturels ne sera pas autorisée. Le pentaoxyde de divanadium ne figure pas dans la Base de données des produits de santé naturels homologués, donc ne se trouve présentement pas dans les produits de santé naturels homologués (BDPSNH, 2010). De plus, la monographie des suppléments de multivitamines/minéraux de la Direction des produits de santé naturels n'indique pas que le pentaoxyde de divanadium constitue une source de vanadium dans les produits de santé naturels (Santé Canada, 2007).

5. PRÉSENCE DANS L'ENVIRONNEMENT AU CANADA ET SOURCES D'EXPOSITION

5.1 Rejets dans l'environnement

La quantité de pentaoxyde de divanadium rejetée à partir de sources naturelles, comme les poussières continentales, les embruns de sel de mer et les émissions volcaniques, devrait être limitée en comparaison des sources anthropiques. Le pentaoxyde de divanadium ne figure pas dans l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP, 2009). Toutefois, la déclaration des composés de vanadium (CAS 7440-62-2) est exigée, sauf lorsqu'ils sont présents dans un alliage. Selon les données de l'INRP, 158 tonnes de composés de vanadium ont été rejetées dans l'environnement en 2006, soit 156 tonnes dans l'air, une tonne dans l'eau et le reste dans le sol (INRP, 2009). Environ 1 800 tonnes de composés de vanadium ont également été éliminées ou recyclées hors site, et 1 369 tonnes ont été éliminées sur place. Il convient de noter que ces rejets provenaient principalement des raffineries de pétrole et des centrales de production d'électricité, et, dans une moindre mesure, des industries métallurgiques et cimentières (INRP, 2009). Ces données correspondent à l'information soumise en vertu de l'article 71, selon laquelle les raffineries de pétrole et les centrales de production d'électricité sont les principaux producteurs de pentaoxyde de divanadium, bien qu'il s'agisse d'une production fortuite associée aux émissions de matières particulaires.

Les émissions du plus grand utilisateur de pentaoxyde de divanadium au Canada (un producteur d'acier) devraient être minimales, car cette substance n'est pas produite à une température élevée dans les chambres de combustion de cette usine (1 800 °C) selon Lee et Wu (2002). Les émissions dans l'air sont également limitées par l'utilisation de dépoussiéreurs à sacs filtrants pour lutter contre la pollution, dont le contenu est ensuite recyclé dans le processus en tant que matière brute.

Selon des renseignements soumis en vertu de l'article 71, les rejets de pentaoxyde de divanadium au Canada provenaient principalement de la combustion de combustibles fossiles et de combustibles au bois (Environnement Canada, 2009). La plupart des déclarations portaient sur le pentaoxyde de divanadium; cependant, quelques-unes concernaient les rejets de vanadium, mais les répondants ignoraient s'il s'agissait ou non de pentaoxyde de divanadium. On a supposé, de façon prudente, que tout le vanadium déclaré en vertu de l'article 71 se présente sous la forme de pentaoxyde de divanadium. Pour l'année civile 2006, des rejets atmosphériques de 100 000 à 1 000 000 kg de pentaoxyde de divanadium ont été déclarés. Les rejets dans l'eau et

dans le sol déclarés pour cette même année étaient respectivement de 1 000 à 10 000 kg et de 100 000 à 200 000 kg. Entre 1 000 000 et 10 000 000 kg de pentaoxyde de divanadium ont été transférés dans une usine de gestion des déchets hors site, dont 99 % ont été traités en tant que déchets non dangereux. La plus grande partie du vanadium rejeté dans l'atmosphère pendant la combustion prend la forme de pentaoxyde de divanadium (V_2O_5) [Tullar et Suffet, 1975], et les oxydes de vanadium de plus faible poids moléculaire seront, en définitive, oxydés en V_2O_5 (USEPA, 1985).

Actuellement, le pentaoxyde de divanadium n'est pas exploité au Canada; ses émissions dans l'environnement sont principalement associées aux matières particulaires et au résultat fortuit d'activités anthropiques. Selon les renseignements soumis en réponse à un avis publié en application de l'article 71 de la LCPE (1999), entre 1 000 000 et 10 000 000 kg de pentaoxyde de divanadium ont été fabriqués pendant l'année civile 2006 (Environnement Canada, 2009). Le terme « fabriquer », tel qu'il est défini dans cet avis, comprend la production fortuite d'une substance, quelle que soit sa concentration, qui résulte de la fabrication, du traitement ou de l'utilisation d'autres substances, mélanges ou produits. Le secteur énergétique (c.-à-d., les raffineries de pétrole et les centrales de production d'électricité) produit de façon fortuite environ 75 % du pentaoxyde de divanadium déclaré, principalement sous la forme de sous-produits comme la cendre volante, la suie et la cendre résiduelle, mais également comme résidu des catalyseurs usés. L'industrie des pâtes et papiers est responsable de 15 % de la production fortuite de pentaoxyde de divanadium, laquelle provient de la combustion de combustibles fossiles et de combustibles au bois. Environ 9 % de la production fortuite est liée aux sous-produits découlant de la fabrication d'alliages de ferrovanadium et, dans une moindre mesure, d'autres métaux (Environnement Canada, 2009). En plus de la production de pentaoxyde de divanadium, entre 100 000 et 1 000 000 kg de cette substance ont été importés au Canada pendant l'année de déclaration 2006.

5.2 Sources d'exposition

La principale source anthropique de pentaoxyde de divanadium est la combustion de combustibles fossiles (Environnement Canada, 2009). En effet, le vanadium est présent dans les combustibles fossiles tels que le pétrole et le charbon, et la combustion de ces combustibles entraîne la formation de sous-produits qui contiennent du pentaoxyde de divanadium, notamment les résidus solides, la suie et la cendre volante. Le pétrole brut et le mazout résiduel contiennent du vanadium à des concentrations variant respectivement de 3 à 260 $\mu\text{g/g}$ et de 0,2 à 160 $\mu\text{g/g}$ (PISSC, 2001). Le charbon de l'Alberta, de la Colombie-Britannique et de la Nouvelle-Écosse a une teneur moyenne en vanadium de 100 $\mu\text{g/g}$, de 400 $\mu\text{g/g}$ et de 800 $\mu\text{g/g}$, respectivement (Spectrum Laboratories Inc., 2009). Le coke de pétrole, qui contient des concentrations encore plus élevées de vanadium, est de plus en plus utilisé pour remplacer de façon partielle ou complète le charbon dans les centrales de production d'électricité (Scott et Thomas, 2007). La teneur en pentaoxyde de divanadium de la cendre volante issue de la combustion mixte du charbon et du coke de pétrole est d'environ 3 % (Scott et Thomas, 2007). Le pentaoxyde de divanadium est également présent dans les résidus des catalyseurs usés qui sont utilisés dans les procédés de raffinage du pétrole, notamment le craquage, et peut être récupéré. De plus, l'industrie métallurgique, en particulier la production de ferrovanadium, peut contribuer à la production fortuite de pentaoxyde de divanadium. Toutefois, comme la quantité de pentaoxyde de divanadium rejetée pendant la production de ferrovanadium est négligeable en comparaison

des rejets provenant des autres sources, l'exposition humaine devrait être très faible. Par conséquent, aucun scénario d'exposition n'a été élaboré pour les activités métallurgiques.

Les données fondées sur les mesures de vanadium seront utilisées pour obtenir des estimations de l'exposition dans l'environnement et par l'entremise des aliments. Bien que cette approche entraîne probablement une surestimation des concentrations réelles de pentaoxyde de divanadium, les mesures sont les seules données existantes et sont jugées appropriées pour fournir une limite supérieure d'exposition de l'ensemble de la population.

Étant donné que la combustion des combustibles fossiles, tels que le pétrole et le charbon, représente la principale source de pentaoxyde de divanadium, l'inhalation de matières particulaires dans l'air ambiant devrait présenter une voie principale d'exposition de la population générale au Canada. La présence de vanadium dans le sol et les aliments, due à sa présence naturelle dans les métaux et aux rejets découlant des activités anthropiques, devrait contribuer à l'exposition de la population générale à cette substance. Toutefois, la biodisponibilité du pentaoxyde de divanadium à la suite de l'ingestion de sol est faible (Tyler, 2004). Des études sur l'absorption de vanadium en fonction du pH et du potentiel d'oxydoréduction de la solution nutritive donnent à penser que, dans des conditions normales, les ions VO_3^- et VO_2^+ constitueraient les principales formes de vanadium absorbées par les racines des plantes dans le sol par diffusion passive (Welch, 1973; Tyler, 2004).

Le pentaoxyde de divanadium est présent de façon naturelle, principalement à des concentrations de 1,5 à 2,5 %, dans les dépôts de magnétite titanifère partout dans le monde (PISSC, 2001). L'Afrique du Sud compte le plus important dépôt de magnétite titanifère, avec une concentration moyenne de 1,5 % de pentaoxyde de divanadium, et répond à près de la moitié de la demande mondiale de pentaoxyde de divanadium de pureté élevée ($\geq 99,5\%$) [Perron, 2001; IARC, 2006]. Le deuxième dépôt en importance se trouve au Canada, plus précisément au lac Doré, au Québec, avec une concentration moyenne de pentaoxyde de divanadium de 0,55 %. Cependant, le pentaoxyde de divanadium n'y est pas exploité (Apella Resources, 2009). Outre l'exploitation des dépôts de magnétite titanifère, il est également possible de récupérer du pentaoxyde de divanadium dans les catalyseurs usés, les résidus de pétrole et les scories renfermant du vanadium. Ces dernières peuvent contenir jusqu'à 24 % pentaoxyde de divanadium (PISSC, 2001). En 2004, la production mondiale de pentaoxyde de divanadium était d'environ 86 200 tonnes (Woolery, 2005).

Les poussières continentales transportées par le vent, les embruns de sel de mer et les émissions volcaniques sont également des sources naturelles de vanadium. Ces sources rejettent de 1,6 à 54,2 tonnes de vanadium chaque année (Mamane et Pirrone, 1998; Nriagu et Pirrone, 1998). La quantité de vanadium rejetée par ces sources naturelles est relativement faible par rapport aux émissions anthropiques mondiales qui sont beaucoup plus importantes, soit de 70 000 à 210 000 tonnes par année (Hope, 1994; Mamane et Pirrone, 1998; Nriagu et Pirrone, 1998). La contribution du pentaoxyde de divanadium aux émissions totales de vanadium est inconnue, mais les sources naturelles de pentaoxyde de divanadium devraient être négligeables par rapport aux sources anthropiques. Les estimations des émissions, fondées sur les données de la fin des années 1990, indiquent que le cycle naturel du vanadium pourrait être grandement perturbé par les activités humaines, étant donné que les émissions anthropiques dans l'air seraient 8,6 fois plus élevées que les émissions naturelles à l'échelle mondiale ($2,4 \times 10^5$ contre $2,8 \times 10^4$ tonnes par année) [Nriagu et Pirrone, 1998; Pacyna et Pacyna, 2001].

6. APERÇU DES MESURES EXISTANTES

6.1 Gestion des risques existante au Canada

La Nouvelle-Écosse, l'Ontario et l'Alberta disposent toutes d'exigences provinciales en matière d'émissions provenant du secteur de l'électricité en ce qui concerne les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et le mercure (Nouvelle-Écosse et Alberta seulement) [CCME, 2006b]. Ces exigences devraient par le fait même réduire les émissions d'autres substances, notamment de métaux (y compris le pentaoxyde de divanadium) et de matières particulaires.

En Ontario, l'abandon progressif des centrales électriques inefficaces alimentées au charbon d'ici 2014 entraînera de nombreux avantages pour la qualité de l'air, y compris la réduction des émissions de mercure provenant des métaux et des matières particulaires (Ontario, 2009).

Le gouvernement du Canada prend des mesures en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'électricité, en mettant en place un règlement visant la production d'électricité au charbon (Canada, 2010b).

Comme les concentrations de pentaoxyde de divanadium dans l'air sont associées aux matières particulaires, les mesures prises par le gouvernement du Canada et les provinces afin d'établir des standards pancanadiens relatifs aux matières particulaires et à l'ozone dans l'air ambiant pourraient avoir un effet bénéfique. Le standard pancanadien devant être atteint en 2010 pour les $MP_{2,5}$ est de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne sur 24 heures) [CCME, 2006a]. De même, les mesures entreprises par le gouvernement du Canada et les provinces pour respecter les standards pancanadiens sur les émissions de mercure provenant des centrales électriques alimentées au charbon devraient réduire les émissions de matières particulaires et d'autres métaux qui sont causées par ces centrales (CCME, 2006b).

Par suite des activités de gestion des risques qui ont été entreprises dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques, le gouvernement du Canada n'autorisera plus l'utilisation de pentaoxyde de divanadium à des fins médicales ou non médicales dans les produits de santé naturels.

Le pentaoxyde de divanadium figure à titre de polluant à l'annexe 1 du *Règlement sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux* (Canada, 2007). Ce règlement vise à éliminer les rejets délibérés ou accidentels de polluants par les navires dans le milieu marin, ou ceux causés par la négligence, ainsi qu'à assurer l'exploitation sécuritaire des navires-citernes pour produits chimiques.

Le pentaoxyde de divanadium est inscrit au *Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses* (Canada, 2005) sous forme non fondue. Le but de ce règlement consiste à protéger l'environnement du Canada et la santé des Canadiens contre les risques que présentent les mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses dans le cadre de leur exportation et de leur importation au Canada, ainsi qu'à honorer les obligations internationales du Canada.

Le vanadium et ses composés sont inscrits dans l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP), à l'exception des alliages.

6.2 Gestion des risques existante à l'étranger

États-Unis

- Le pentaoxyde de divanadium est :
 - Un déchet dangereux soumis aux dispositions de la partie 261 (*Identification and Listing of Hazardous Waste*) du titre 40 du *Code of Federal Regulations* (CFR);
 - Soumis à la partie 355 (*Emergency Planning and Notification*) du titre 40 du CFR, qui oblige les installations à fournir des renseignements nécessaires à l'élaboration et à la mise en œuvre de plans d'intervention d'urgence pour les produits chimiques à l'échelle locale et de l'État, et qui fixe des exigences quant à la notification d'urgence des rejets de produits chimiques;
 - Visé par la partie 266 (*Standards for the Management of Specific Hazardous Wastes and Types of Hazardous Waste Management Facilities*) du titre 40 du CFR, qui présente des concentrations atmosphériques de référence et des limites fondées sur la santé quant à l'exclusion des résidus provenant de déchets (limites de concentration pour les résidus non métalliques).

Europe

- L'Union européenne a inscrit le pentaoxyde de divanadium sur la liste des substances qui ne doivent pas entrer dans la composition des produits cosmétiques.

Nouvelle-Zélande

- La Nouvelle-Zélande a inscrit le pentaoxyde de divanadium à l'annexe 4 (*Components Cosmetic Products Must Not Contain*) du *Cosmetic Products Group Standard*.

7. CONSIDÉRATIONS

7.1 Substances chimiques de remplacement ou substituts

En général, le vanadium est présent dans le mazout lourd. Auparavant, la plupart des centrales électriques au mazout brûlaient du mazout lourd dans leurs chambres de combustion. Toutefois, au cours des deux dernières décennies, ces centrales électriques ont commencé à utiliser des combustibles plus légers, comme le gaz naturel, afin de réduire la pollution atmosphérique (Statistique Canada, 2007). Il est important de noter que ces substituts n'ont peut-être pas fait l'objet d'une évaluation visant à déterminer s'ils répondent aux critères énoncés à l'article 64 de la LCPE (1999).

7.2 Technologies et/ou techniques de remplacement

Aucune technologie ou technique de remplacement n'a été trouvée.

7.3 Considérations socioéconomiques

Les facteurs socioéconomiques ont été pris en considération dans le processus de sélection d'un règlement et/ou d'un instrument respectant les mesures de prévention ou de contrôle et dans la détermination [du/des objectif(s)] de gestion des risques. Les facteurs socioéconomiques seront également pris en considération dans l'élaboration d'un règlement, d'un ou d'instruments et/ou d'un ou d'outils comme il est indiqué dans la *Directive du Cabinet sur la rationalisation de la réglementation* (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2007) et dans les conseils fournis dans le document du Conseil du Trésor intitulé *Évaluation, choix et mise en œuvre d'instruments d'action gouvernementale*.

Les considérations socioéconomiques pour le pentaoxyde de divanadium comprennent ce qui suit :

- Au Canada, en 2006, entre 1 000 000 et 10 000 000 kg de pentaoxyde de divanadium ont été produits de façon fortuite, entre 100 000 et 1 000 000 kg ont été importés et entre 1 000 000 et 10 000 000 kg ont été utilisés (Environnement Canada, 2009).
- Le pentaoxyde de divanadium est inscrit aux listes (2004 et 2007) de l'Organisation de coopération et de développement économiques sur les substances chimiques produites en grande quantité (OCDE, 2004; OCDE, 2009) en Europe (ESIS, 2010).
- Le prix moyen du pentaoxyde de divanadium aux États-Unis a varié de 16,28 \$ US par livre (0,45 kg) en 2005, en raison de la forte demande des industries sidérurgique et aérospatiale et des problèmes d'approvisionnement, à 3,60 \$ US en avril 2009, en raison de la baisse de la demande de l'industrie sidérurgique et de la crise financière (USGS, 2010; USGS, 2006).
- La majorité de cette substance a été utilisée dans la production d'alliages de ferovanadium destinés à la fabrication d'acier trempé. Ces produits font partie de l'industrie de la sidérurgie (SCIAN 33111) [Environnement Canada, 2009]. En 2008, les revenus de cette industrie, qui comptait 100 établissements et environ 19 000 employés, s'élevaient à 14,5 milliards de dollars. En 2008, environ 44 % des établissements étaient situés en Ontario, 23 %, dans les provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba) et 21 %, au Québec (Statistique Canada, 2010b).
- La valeur annuelle des exportations canadiennes de l'industrie de la sidérurgie était de 3,7 milliards de dollars en 2009, alors que les importations se chiffraient à 4,6 milliards de dollars. Le principal partenaire commercial en 2009 était les États-Unis, qui recevaient 79 % des exportations canadiennes et étaient à l'origine de 72 % des importations (Industrie Canada, 2010b).
- Une quantité de 38 300 kg de pentaoxyde de divanadium a été utilisée en 2006 dans la fabrication d'engrais chimiques, qui fait partie de l'industrie de la fabrication d'engrais chimiques (sauf la potasse) [SCIAN 325313] (Environnement Canada, 2009). En 2008, les revenus de cette industrie, qui comptait 70 établissements et environ 2 100 employés, s'élevaient à 3,9 milliards de dollars. En 2008, environ 30 % des établissements étaient situés au Québec, 29 %, dans les provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba) et 26 %, en Ontario (Statistique Canada, 2010a).
- La valeur annuelle des exportations canadiennes de l'industrie de la fabrication d'engrais chimiques (sauf la potasse) était de 1,5 milliard de dollars en 2009, alors que les importations

se chiffraient à 430 millions de dollars. Le principal partenaire commercial en 2009 était les États-Unis, qui recevaient 97 % des exportations canadiennes et étaient à l'origine de 61 % des importations (Industrie Canada, 2010a).

- Une quantité de 24 900 kg de pentaoxyde de divanadium (présent dans l'alumine) a été utilisée pour la production d'aluminium, qui fait partie de l'industrie de la production primaire d'alumine et d'aluminium (SCIAN 331313) [Environnement Canada, 2009]. En 2008, les revenus de cette industrie, qui comptait 41 établissements et environ 14 000 employés, s'élevaient à 8,8 milliards de dollars. La même année, environ 56 % des établissements étaient situés au Québec et 29 %, en Ontario (Statistique Canada, 2010c).
- La valeur annuelle des exportations canadiennes de l'industrie de la production primaire d'alumine et d'aluminium était de 4,7 milliards de dollars en 2009, alors que les importations se chiffraient à 1,4 milliard de dollars. Les États-Unis étaient le principal destinataire des exportations canadiennes (82 %), alors que le Brésil était la source la plus importante des importations (41 %) [Industrie Canada, 2010c].

7.4 Exposition des enfants

Le gouvernement du Canada a pris en compte, le cas échéant, les renseignements sur l'évaluation des risques pertinents à l'exposition des enfants à la substance. Dans le cadre du Défi, il a demandé à l'industrie et aux parties intéressées de soumettre tout renseignement sur la substance qui pourrait être utile à l'évaluation des risques, à la gestion des risques et à l'intendance du produit. Au moyen d'un questionnaire, on a demandé aux parties intéressées si l'un des produits contenant la substance était destiné à l'utilisation des enfants. Étant donné les renseignements reçus, on propose qu'aucune mesure de gestion des risques visant à protéger en particulier les enfants ne soit exigée à l'heure actuelle pour cette substance.

8. OBJECTIFS PROPOSÉS

8.1 Objectif en matière de santé humaine

Un objectif en matière de santé humaine est un énoncé quantitatif ou qualitatif de ce qui devrait être atteint pour traiter les préoccupations relatives à l'environnement ou à la santé humaine déterminées au cours d'une évaluation des risques.

L'objectif proposé en matière de santé humaine pour le pentaoxyde de divanadium consiste à réduire autant que possible l'exposition à ce produit.

8.2 Objectif de gestion des risques

Un objectif de gestion des risques est une cible visée pour une substance donnée, et ce, en mettant en œuvre un règlement, un ou des instruments et/ou un ou des outils de gestion des risques. Les objectifs proposés de gestion des risques pour le pentaoxyde de divanadium sont d'empêcher l'augmentation de l'exposition et de réduire les émissions industrielles de matières particulaires qui peuvent contenir cette substance.

9. GESTION DES RISQUES PROPOSÉE

9.1 Règlement et Instrument(s) de gestion des risques proposés

Comme l'exigent la *Directive du Cabinet sur la rationalisation de la réglementation*³ du gouvernement du Canada et les critères déterminés dans le document du Conseil du Trésor intitulé *Évaluation, choix et mise en œuvre d'instruments d'action gouvernementale*, il a fallu procéder de manière cohérente pour choisir les outils de gestion des risques proposés, et il a fallu prendre en considération l'information recueillie dans le cadre du Défi ainsi que toute autre information alors disponible.

L'objectif principal des mesures de gestion des risques sera de s'occuper des sources considérées comme prioritaires, notamment la combustion des combustibles fossiles (pétrole et charbon).

À la suite des activités de gestion des risques pour le pentaoxyde de divanadium, qui ont été entreprises dans le cadre du Plan de gestion des produits chimiques, le gouvernement du Canada a modifié le statut de cette substance dans la Base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels, de substance d'usage restreint à substance qui ne sera pas autorisée dans les produits de santé naturels. (<http://webprod.hc-sc.gc.ca/nhp-id-bdipsn/ingredReq.do?id=2786&lang=fra>).

Afin d'atteindre l'objectif de gestion des risques et de travailler à l'atteinte de l'objectif en matière de santé humaine, la gestion des risques envisagée pour le pentaoxyde de divanadium comprend les aspects suivants. **1) Réduction des rejets de pentaoxyde de divanadium par l'entremise des programmes actuels et proposés visant à diminuer les émissions de matières particulaires qui proviennent de la combustion de certains combustibles fossiles.** Des travaux sont en cours pour mettre à jour les connaissances du gouvernement du Canada sur les effets que peuvent avoir différents secteurs industriels sur la santé, notamment la production d'électricité (centrales électriques alimentées au charbon) et le raffinage du pétrole. L'objectif de ces travaux consiste à éclairer la prise de décisions fédérales et provinciales sur la mise en œuvre d'activités réglementaires à long terme. **2) Le gouvernement du Canada prévoit appliquer les dispositions de la LCPE (1999) sur les nouvelles activités pour cette substance.** Ces options exigeraient que toute proposition de nouvelle fabrication, importation ou utilisation soit soumise à une évaluation plus approfondie et détermineraient si la nouvelle activité demande d'autres mesures de gestion des risques) **et 3) l'ajout du pentaoxyde de divanadium au Règlement sur les urgences environnementales.** Ainsi, les industries qui déclarent des quantités ou des concentrations égales ou supérieures à celles prévues par ce règlement devront préparer un plan d'urgence environnementale qui comprend les mesures à prendre pour prévenir les urgences environnementales, les dispositifs d'alerte et de réparation ainsi que les mesures pour remédier à ces urgences et réparer les dommages qui en découlent.

9.2 Plan de mise en œuvre

³ La section 4.4 de la *Directive du Cabinet sur la rationalisation de la réglementation* précise que « les ministères et les organismes doivent [...] déterminer l'instrument ou la combinaison appropriée d'instruments – y compris des mesures de nature réglementaire et non réglementaire – et justifier leur application avant de soumettre un projet de règlement ».

Le règlement ou instrument proposé concernant les mesures de prévention ou de contrôle relatives au pentaoxyde de divanadium sera publié dans la Partie I de la *Gazette du Canada*, au plus tard en septembre 2012.

10. APPROCHE DE CONSULTATION

Le document sur le cadre de gestion des risques pour le pentaoxyde de divanadium, qui résumait la gestion des risques proposée étudiée à ce moment-là, a été publié le 20 mars 2010. L'industrie et les autres parties intéressées ont été invitées à soumettre leurs commentaires sur le document sur le cadre de gestion des risques au cours d'une période de commentaires de 60 jours. Les commentaires reçus relativement à ce cadre de gestion ont été pris en considération au moment de l'élaboration de la présente approche de gestion des risques proposée.

Les principales parties intéressées comprennent :

- le secteur pétrolier;
- le secteur de la production d'électricité;
- le secteur de la fabrication d'acier;
- le secteur des produits de santé naturels

11. PROCHAINES ÉTAPES ET ÉCHÉANCIER PROPOSÉ

Mesures	Date
Consultation électronique portant sur le document sur l'approche de gestion des risques proposée	18 septembre 2010 au 17 novembre 2010
Réponse aux commentaires portant sur le document sur l'approche de gestion des risques proposée.	Au plus tard à la date de publication de l'instrument proposé
Consultation sur l'ébauche de l'instrument	Été et automne 2011
Publication de l'instrument proposé	Au plus tard en septembre 2012
Période officielle de commentaires du public concernant l'instrument proposé	Au plus tard à l'hiver 2013
Publication de l'instrument final	Au plus tard en mars 2014

Les représentants de l'industrie et les autres parties intéressées sont invités à présenter leurs commentaires sur le contenu de la présente approche de gestion des risques proposée et à transmettre tout autre renseignement qui pourrait contribuer à éclairer la prise de décisions. Veuillez faire parvenir ces commentaires ou renseignements au plus tard le 17 novembre 2010, car le gouvernement du Canada entreprendra à compter de cette date la gestion des risques pour le pentaoxyde de divanadium. Au cours de l'élaboration de règlement, de ou des instruments et de ou des outils de gestion des risques, il y aura des occasions de consultation. Veuillez transmettre tout commentaire ou autre renseignement ayant trait à la présente approche de gestion des risques proposée à l'adresse suivante :

Division de gestion des substances chimiques
Gatineau (Québec) K1A 0H3

Tél. : 1-888-228-0530 ou 819-956-9313

Télec. : 819-953-7155

Courriel : Existing.Substances.Existantes@ec.gc.ca

12. RÉFÉRENCES

[ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2009. Draft toxicological profile for vanadium. Washington (DC) : US Department of Health and Human Services, Public Health Service. Accès : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf>

Apella Resources. 2009. Lac Dore vanadium deposit, Apella Resources Inc., Vancouver, BC. Vancouver (BC) : Apella Resources Inc. [consulté le 28 septembre 2009]. Accès : <http://www.apellaresources.com/home>

Blume, R., Drummond, C. 2002. Modeling and optimization of solar-control glasses. *J. Am. Ceram. Soc.* 85(5):1070-1076.

[BDPP] Base de données sur les produits chimiques. 2010. Recherche de produits pharmaceutiques en ligne [base de données sur Internet]. Ottawa (Ont.) : Santé Canada. Accès : <http://webprod.hc-sc.gc.ca/dpd-bdpp/language-language.do?url=t.search.recherche&lang=fra>

[BDIPSN] Base de données sur les ingrédients des produits de santé naturels. 2010. Recherche d'ingrédients en ligne [base de données sur Internet]. Ottawa (Ont.) : Santé Canada. Accès : <http://webprod.hc-sc.gc.ca/nhpid-bdipns/search-rechercheReq.do?lang=fra>

[BDPSNH] Base de données des produits de santé naturels homologués. 2010. Recherche de médicaments et produits de santé en ligne [base de données sur Internet]. Ottawa (Ont.) : Santé Canada. Accès : <http://205.193.93.55/lnhpd-bdpsnh/start-debuter.do>

Canada. 1999. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*. L.C., 1999, c. 33, *Gazette du Canada*. Partie III, vol. 22, n° 3. Ottawa : Imprimeur de la Reine. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p3/1999/g3-02203.pdf>

Canada. 2000. *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Règlement sur la persistance et la bioaccumulation*, C.P. 2000-348, 23 mars 2000, DORS/2000-107. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p2/2000/2000-03-29/pdf/g2-13407.pdf>

Canada. 2005. *Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses*, DORS/2005-149, *Canada Gazette. Partie II*, vol. 139, n° 11 – le 1^{er} juin 2005. Accès : <http://canadagazette.gc.ca/archives/p2/2005/2005-06-01/html/sor-dors149-fra.html>

Canada. 2007. *Règlement sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux*. DORS/2007-86, *Gazette du Canada. Partie II*, vol. 141, n° 10 – Le 16 mai 2007. Accès : <http://www.gazette.gc.ca/archives/p2/2007/2007-05-16/html/sor-dors86-eng.html>

Canada. 2010a. Ministère de l'Environnement, ministère de la Santé. Ébauche d'évaluation préalable du pentaoxyde de divanadium (CAS RN 1314-62-1). Accès : <http://www.chemicalsubstanceschimiques.gc.ca/challenge-defi/batch-lot-9/index-eng.php>

Canada. 2010b. Communiqué de presse d'Environnement Canada : Le gouvernement du Canada réglemente les émissions provenant du secteur de l'électricité. Accès : <http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&n=714D9AAE-1&news=FD27D97E-5582-4D93-8ECE-6CB4578171A9>

[CCME] Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2006a. Standards pancanadiens relatifs aux particules et à l'ozone : rapport quinquennal 2000-2005. Accès http://www.ccme.ca/assets/pdf/pm_oz_2000_2005_rpt_f.pdf

[CCME] Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2006b. Standards pancanadiens sur les émissions de mercure provenant des centrales électriques alimentées au charbon. Accès : http://www.ccme.ca/assets/pdf/hg_epg_cws_w_annex_fr.pdf

El-Mallawany, R.A.H. 2001. Tellurite glasses handbook: physical properties and data. Boca Raton (FL) : CRC Press.

Environnement Canada. 2009. Données sur les substances du lot 9 recueillies en vertu de l'article 71 de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Avis concernant certaines substances identifiées dans le neuvième lot du Défi*. Données préparées par Environnement Canada, Programmes des substances existantes.

[ESIS] European Chemical Substances Information System [base de données sur Internet]. 2010. European Chemicals Bureau (ECB). [consulté le 28 juin 2010]. Accès: <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>.

Haber, J. 2009. Fifty years of my romance with vanadium oxide catalysts. *Catalysis Today* 142:100-113.

Hagerman, D.B., Faust, R.A. 1955. Use of vanadium pentoxide in combustion method for sulphur in refractory materials. *Anal. Chem.* 27(12):1970-1972.

Hope, B.K. 1994. A global biogeochemical budget for vanadium. *Sci. Total Environ.* 141:1-10.

Hughes, J.M., Finger, L.W. 1983. The crystal chemistry of shcherbinaite, naturally occurring V₂O₅. *Am. Mineral* 68:1220-1222.

[IARC] IARC Working group on the evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2006. Cobalt in Hard Metals and Cobalt Sulfate, Gallium Arsenide, Indium Phosphide and Vanadium Pentoxide. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks. Hum.* 86:227-292. Accès : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol86/volume86.pdf>

[INRP] Inventaire national des rejets de polluants [base de données en ligne]. 2009. Gatineau (Qc) : Environnement Canada. [consulté le 3 novembre 2009]. Accès : <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/>

Industrie Canada. 2010a. Commerce par industrie – Fabrication d'engrais chimiques, sauf la potasse (SCIAN 325313). [Internet]. Ottawa (Canada). Données sur le commerce en direct (DCD). [cité le 30 juin 2010]. Accès : <http://www.ic.gc.ca/cis-sic/cis-sic.nsf/IDF/cis-sic325313deff.html>

Industrie Canada. 2010b. Commerce par industrie – Sidérurgie (SCIAN 33111). [Internet]. Ottawa (Canada). Données sur le commerce en direct (DCD). [cité le 30 juin 2010]. Accès : <http://www.ic.gc.ca/cis-sic/cis-sic.nsf/IDF/cis-sic33111deff.html>

Industrie Canada. 2010c. Commerce par industrie – Production primaire d'alumine et d'aluminium (SCIAN 331313). [Internet]. Ottawa (Canada). Données sur le commerce en direct (DCD). [cité le 30 juin 2010]. Accès : <http://www.ic.gc.ca/cis-sic/cis-sic.nsf/IDF/cis-sic331313deff.html>

Kaoua, S., Krimi, S., El Jazouli, A., Hlil, E.K., de Waal, D. 2007. Preparation and characterization of phosphate glasses containing titanium and vanadium. *J. Alloys Compd* 429(1-2):276-279.

Lee, S.-R., Wu, C.-Y. 2002. Study of vanadium emission control in combustion systems by thermodynamic equilibrium analyses. *Adv. Environ. Res.* 7:1-10.

Lin, C.Y., Chiu, C.H. 1995. Emissions of industrial furnaces burning vanadium-contained heavy oils. *J. Environ. Sci. Health. Part A Environ Sciences and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control* 20:133-142.

Mamane, Y., Pirrone, N. 1998. Vanadium in the atmosphere. *In*: Nriagu, J.O. (éditeur). Vanadium in the environment. Part 1: Chemistry and biochemistry. New York (NY) : John Wiley & Sons. p. 37-71.

Magyar, M.J. 2003. Vanadium. *In*: US Geological Survey minerals yearbook. Reston (VA): US Department of the Interior, US Geological Survey. p. 80.1–80.8. Accès : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/vanadmyb03.pdf>

Mortvedt, J.J., Beaton, J.D. 1995. Heavy metal and radionuclide contaminants in phosphate fertilizers. *In*: Tiessen, H. (éditeur). SCOPE 54: Phosphorus in the global environment—Transfers, cycles and management. Chichester (R.-U.) : John Wiley & Sons. Accès : <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/6mortvedt.htm>

Moskalyk, R.R., Alfantazi, A.M. 2003. Processing of vanadium: a review. *Miner Eng.* 16:793–805.

Motolese, A., Truzzi, M., Giannini, A., Seidenari, S. 1993. Contact dermatitis and contact sensitization among enamellers and decorators in the ceramics industry. *Contact Dermatitis* 28:59-62.

[NCI] National Chemical Inventories [base de données sur CD-ROM]. 2006. Columbus (OH) : American Chemical Society. [consulté le 26 octobre 2009]. Accès : <http://www.cas.org/products/cd/nci/index.html>

Nova Scotia Power Inc. 2004. Registration document by Nova Scotia Power, Inc. in support of registration of Tufts Cove 5 under the N.S. Environmental Act. Accès : <http://www.gov.ns.ca/nse/ea/tuftscove5/NSPITuftsCoveEAREg.pdf>

Nriagu, J.O., Pirrone, N. 1998. Emission of vanadium into the atmosphere. *In*: Nriagu, J.O. (éditeur). Vanadium in the environment. Part 1: Chemistry and biochemistry. New York (NY) : John Wiley & Sons. p. 25-36.

[NTP] National Toxicology Program (États-Unis). 2002. NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of vanadium pentoxide (CAS no. 1314-62-1) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). Research Triangle Park (NC) : US Department of Health and Human Services, National Toxicology Program. NIH Publication No. 03-4441. Accès : http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/LT_rpts/tr507.pdf

[OCDE] Organisation de coopération et de développement économiques. 2004. *The 2004 OECD List of High Production Volume Chemicals*. [Internet]. Paris (FR) : OCDE, Direction de l'environnement. [cité le 28 juin 2010]. Accès : <http://www.oecd.org/dataoecd/55/38/33883530.pdf>.

[OCDE] Organisation de coopération et de développement économiques. 2009. *The 2007 OECD List of High Production Volume Chemicals*. [Internet]. Paris (FR) : OCDE, Direction de l'environnement. [cité le 28 juin 2010]. Accès : <http://www.oecd.org/dataoecd/32/9/43947965.pdf>.

Ontario. 2009. Plan d'élimination du charbon en Ontario. Accès : <http://www.news.ontario.ca/mei/fr/2009/09/plan-delimitation-du-charbon-en-ontario.html>

Pacyna, J.M., Pacyna, E.G. 2001. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environ. Rev.* 9:269–298.

Perron, L. 2001. Vanadium. *In*: Annuaire des minéraux du Canada, 2001. Ottawa (Ont.) : Ressources naturelles Canada. p. 59.1–59.7. Accès : <http://www.nrcan.gc.ca/smm-mms/busi-indu/cmy-amc/content/2001/65.pdf>

[PISSC] Programme international sur la sécurité des substances chimiques. 2001. Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds. Genève (Suisse) : Organisation mondiale de la santé. (Résumé succinct international sur l'évaluation des risques chimiques n° 29). Financé conjointement par le Programme des Nations Unies pour l'environnement, l'Organisation internationale du travail et l'Organisation mondiale de la santé, dans le cadre du Programme interorganisations pour la gestion rationnelle des produits chimiques. Accès : <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad29.htm>

Ress, N.B., Chou, B.J., Renne, R., Dill, J.A., Miller, R.A., Roycroft, J.H., Hailey, J.R., Haseman, J.K., Bucher, J.R. 2003. Carcinogenicity of inhaled vanadium pentoxide in F344/N rats and B6C3F1 mice. *Toxicol. Sci.* 74:287-296.

Santé Canada. 2007. Monographies des suppléments de multivitamines/minéraux. Accès : http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/licen-prod/monograph/multi_vitmin_suppl-eng.php

Scott, A.N., Thomas, M.D.A. 2007. Evaluation of fly ash from co-combustion of coal and petroleum coke for use in concrete. *ACI Mater J.* 104:62-69.

Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. 2007. Directive du Cabinet sur la rationalisation de la réglementation, article 4.4. Accès : <http://www.tbs-sct.gc.ca/ri-qr/directive/directive01-fra.asp>

Spectrum Laboratoires Inc. 2009. Spectrum Chemical Fact Sheet for Vanadium. Ft Lauderdale (FL) : Spectrum Laboratories Inc. Accès : <http://www.speclab.com/elements/vanadium.htm> [consulté le 2 octobre 2009].

Statistique Canada. 2007. Consommation de mazout lourd au Canada. 2007. Ottawa (Ont.) : Statistique Canada. N° 11-621-MIF au catalogue. Accès : <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-621-m/11-621-m2007062-fra.htm>

Statistique Canada. 2010a. Tableau 301-0006 – Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars sauf indication contraire), CANSIM (base de données), E-STAT (distributeur). Fabrication d'engrais chimiques, sauf la potasse (SCIAN 325313). [cité le 28 juin 2010] Accès : http://estat2.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.pgm?LANG=F&EST-FI=ESTAT/FRANCAIS/CII_1-fra.HTM.

Statistique Canada. 2010b. Tableau 301-0006 – Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars sauf indication contraire), CANSIM (base de données), E-STAT (distributeur). Sidérurgie (SCIAN 331110). [cité le 28 juin 2010] Accès : http://estat2.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.pgm?LANG=F&EST-FI=ESTAT/FRANCAIS/CII_1-fra.HTM.

Statistique Canada. 2010c. Tableau 301-0006 – Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), annuel (dollars sauf indication contraire), CANSIM (base de données), E-STAT (distributeur). Production primaire d'alumine et d'aluminium (SCIAN 331313). [cité le 28 juin 2010] Accès : http://estat2.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.pgm?LANG=F&EST-FI=ESTAT/FRANCAIS/CII_1-fra.HTM.

Tullar, I.V., Suffet, I.H. 1975. The fate of vanadium in an urban air shed: the lower Delaware River Valley. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 25(3):282-286.

Tyler, G. 2004. Ionic charge, radius, and potential control root/soil concentration ratios of fifty cationic elements in the organic horizon of a beech (*Fagus sylvatica*) forest podzol. *Sci. Total Environ.* 329:231-239.

[US EPA] US Environmental Protection Agency. 1985. Health and Environmental Effects Profile for Vanadium Pentoxide. Cincinnati (OH): US Environmental Protection Agency, Environmental Criteria and Assessment Office. Document No.: EPA600/x85/114 [cited in ATSDR 2009].

[USGS] United States Geological Service. 2010. Mineral Commodity Summaries, Vanadium. [Internet]. [consulté le 7 juillet 2010]. Accès : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/mcs-2010-vanad.pdf>.

[USGS] United States Geological Service. 2006. Mineral Commodity Summaries, Vanadium. [Internet]. [consulté le 7 juillet 2010]. Accès : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/vanadmc06.pdf>.

[Vanitec] Vanadium International Technical Committee. 2009. Vanadium facts. [consulté le 2 octobre 2009]. Kent (R.-U.) : Vanitec. Accès : <http://www.vanitec.org/pages/en/information/vanadiumfacts/health.php>

Welch, R.M. 1973. Vanadium uptake by plants. Absorption kinetics and the effects of pH metabolic inhibitors, and other anions and cations. *Plant Physiol.* 51:828-832.

Woolery, M. 2005. Vanadium compounds. *In*: Kroschwitz, J.I., Howe-Grant, M. (éditeurs). Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, vol. 20. 4^e éd. p. 1-16. New York (NY) : John Wiley & Sons. Accès : <http://www.mrw.interscience.wiley.com/emrw/9780471238966/home>