
Le manganèse

Pour des raisons d'ordre organoleptique, l'objectif pour le manganèse dans l'eau potable a été fixé à $\leq 0,05$ mg/L (≤ 50 µg/L). La présence de cet élément dans les approvisionnements d'eau est indésirable pour plusieurs raisons. À des concentrations supérieures à 0,15 mg/L, le manganèse tache les éléments de plomberie et les tissus; de plus, en fortes concentrations, il donne mauvais goût aux boissons. Comme le fer, il peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en y favorisant la croissance de microorganismes. Même à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L, le manganèse peut former dans la tuyauterie des dépôts qui peuvent se présenter sous la forme de précipités noirs.

Généralités

Le manganèse est présent dans plus d'une centaine de composés de sels et de minéraux communs que l'on retrouve dans les roches, les sols et au fond des lacs et des océans. Le plus souvent, on trouve le manganèse sous forme de dioxyde, de carbonate ou de silicate de manganèse. On peut le trouver à l'état d'oxyde à des valences allant de -3 à +7; les états d'oxydation dits manganeux (Mn^{2+}) et manganique (Mn^{4+}) sont ceux qui touchent particulièrement les systèmes d'aqueduc.⁽¹⁾

Au Canada, on utilise le manganèse surtout dans l'industrie de l'acier, où l'on s'en sert pour contrebalancer les effets du soufre, comme agent désoxydant et dans la composition d'alliages spéciaux. Il sert aussi à la fabrication de piles électriques sèches et comme oxydant dans l'industrie chimique. En 1985, le Canada a importé environ 25 398 tonnes de ferromanganèse, 6 979 tonnes de silicomanganèse, 102 048 tonnes de minerai de manganèse ainsi que 3 240 tonnes de manganèse sous forme métallique; la même année, le pays exportait 22 408 tonnes de ferromanganèse.⁽²⁾

Présence dans l'environnement

Le manganèse est le constituant principal des nodules de manganèse et des concrétions d'oxyde de ferromanganèse que l'on trouve dans les Grands Lacs et dans plusieurs lacs de l'Est de l'Ontario.⁽³⁻⁵⁾ Les produits du lessivage des dépôts de manganèse à la surface du sol comptent pour très peu dans le manganèse qui se trouve dans les cours d'eau et les océans. De façon générale, le manganèse est présent dans les eaux

de surface naturelles, soit en solution, soit en suspension, à des concentrations inférieures à 0,05 mg/L. Une étude sur les eaux de surface canadiennes effectuée en 1980-1981 a montré que le manganèse était ordinairement présent dans les cours d'eau à des concentrations allant de 0,01 à 0,40 mg/L. On a relevé les concentrations les plus élevées dans la Carrot River, en Saskatchewan : le manganèse dissous y atteignait 1,7 mg/L et le manganèse extractible, 4,0 mg/L.⁽⁶⁾ En raison des conditions réductrices qui prévalent dans le sous-sol, le manganèse est plus abondant dans les approvisionnements d'eau constitués à partir d'eaux souterraines que dans ceux qui font appel aux eaux de surface. Par suite de la pollution acide, on trouve également de fortes concentrations de manganèse dans certains lacs et certains réservoirs; en 1972-1973, on a relevé dans un petit lac acide des environs de Sudbury, en Ontario, une concentration moyenne de manganèse de 0,26 mg/L.⁽⁷⁾

En 1974-1976, 67 % des 84 sites retenus pour un échantillonnage de l'eau potable à l'échelle du pays présentaient des concentrations de manganèse inférieures à 0,02 mg/L; dans 25 % de ces 84 sites, la concentration dépassait 0,05 mg/L.⁽⁸⁾ Une étude menée en Ontario en 1985-1986 auprès de 20 usines de traitement de l'eau de boisson a révélé des concentrations moyennes de manganèse de 0,014 et 0,008 mg/L dans l'eau non traitée et dans l'eau traitée, respectivement. Les concentrations de manganèse étaient constamment plus élevées dans les réseaux de distribution que dans l'eau traitée. Par exemple, à Hearst, en Ontario, les concentrations de manganèse dans les eaux non traitées, dans les eaux traitées et dans le réseau d'aqueduc (échantillons recueillis après cinq minutes de plein débit) étaient de 0,023, 0,009 et 0,011 mg/L, respectivement.⁽⁹⁾

Le manganèse présent dans l'atmosphère provient principalement des émissions industrielles qui contiennent des oxydes de manganèse. On a estimé qu'au Canada, en 1984, les émissions de manganèse attribuables à des activités humaines totalisaient 1 225 tonnes; 78,5 % de ces émissions étaient d'origine industrielle, liées principalement à des processus de fabrication d'alliages métalliques. Les émissions dues aux véhicules à moteur à essence comptaient pour

17,2 % du total, les 4,3 % restant s'expliquant par la combustion de charbon pour la production d'électricité, l'incinération des déchets solides et l'application de pesticides.⁽¹⁰⁾

L'étude de la composition chimique de la matière particulaire dans le ciel d'Edmonton, en Alberta, conduite en 1978-1979, a mis en évidence une concentration moyenne de manganèse dans l'air de 0,071 µg/m³. Cette concentration fluctuait considérablement suivant les saisons : en novembre 1978, la concentration moyenne était de 0,050 µg/m³; en mars-avril et en juillet-août 1979, les concentrations moyennes étaient de 0,065 µg/m³ et de 0,098 µg/m³, respectivement. Au dessus d'un site non urbain assez éloigné (la station météorologique de Stony Plain), la concentration moyenne était, au cours de la même période d'échantillonnage, inférieure à 0,03 µg/m³. On croit qu'aux deux endroits le manganèse provient principalement de la croûte terrestre.⁽¹¹⁾

Au cours d'une étude faite en 1982 et qui s'étendait à l'ensemble de l'Ontario, on a relevé dans les précipitations et dans l'air la distribution des concentrations de certains métaux — dont le manganèse — à l'état de traces.⁽¹²⁾ On a constaté, du Sud au Nord de la province, une tendance vers la diminution des concentrations de manganèse. La concentration moyenne du manganèse dans l'air s'étendait de 0,007 µg/m³ dans le Sud à 0,0029 µg/m³ dans le Nord. De même, les dépôts annuels à sec de manganèse allaient de 1,53 µg/m² dans le Sud à 0,62 µg/m² dans le Nord. La concentration annuelle moyenne de manganèse dans les précipitations allait de 0,0047 mg/L dans le Sud à 0,0031 mg/L dans le Nord.

Le manganèse est toujours présent dans le sol arable.⁽¹³⁾ Les sols canadiens contiennent en moyenne 0,008 mg/g de manganèse.⁽¹⁴⁾ Les concentrations vont de non détectable à 7 mg/g.⁽¹⁵⁾

Qu'il s'agisse des plantes ou des animaux, tous les tissus contiennent du manganèse à l'état de traces.⁽¹³⁾ La quantité de manganèse contenue dans les aliments peut varier considérablement. En général, on trouve des concentrations assez basses dans les produits laitiers (moyenne de 0,12 mg/kg) et les viandes (moyenne de 0,33 mg/kg).⁽¹⁶⁾ Le manganèse se trouve distribué relativement également parmi tous les groupes alimentaires provenant de sources végétales (moyenne de 2,66 mg/kg).⁽¹⁶⁾ Dans des vins californiens analysés au Canada, on a trouvé du manganèse à des concentrations allant de 0,18 à 1,64 mg/kg,⁽¹⁷⁾ alors que, dans les boissons carbonatées et les jus de fruits, les concentrations de manganèse s'étendaient de moins de 0,01 à 0,03 mg/L et de 0,18 à 1,3 mg/L, respectivement.⁽¹⁸⁾

Exposition au Canada

Des études effectuées au Canada ont permis d'estimer que l'apport alimentaire quotidien de manganèse se situe entre 4,1 mg⁽¹⁹⁾ et 3,3 mg.⁽¹⁶⁾ Une estimation récente de l'apport quotidien moyen, établie à partir de données concernant la consommation alimentaire canadienne per capita en 1981 et 1982⁽²⁰⁾ et les valeurs déjà connues et publiées concernant le contenu en manganèse de divers aliments^(16,19,21-26) a donné le chiffre moyen de 4,7 mg (femmes : 3,9 mg; hommes : 5,6 mg).⁽²⁷⁾

Dans l'hypothèse où, pour une personne, la consommation quotidienne d'eau potable est de 1,5 litre et où la concentration de manganèse dans l'eau potable est de 0,02 mg/L, l'apport quotidien de manganèse en provenance de l'eau de boisson serait au Canada d'environ 0,03 mg. La consommation quotidienne réelle de manganèse dans l'eau potable varie considérablement suivant le lieu d'échantillonnage au Canada.

Dans l'hypothèse où la concentration moyenne de manganèse dans l'air est de 0,0001 mg/m³ et où le volume respiratoire quotidien est de 20 m³, l'apport quotidien de manganèse par les voies respiratoires serait de 0,002 mg.

D'après ces chiffres, l'exposition quotidienne totale d'un Canadien au manganèse en provenance de toutes les sources environnementales dépasserait tout juste 4,7 mg. L'alimentation serait la source principale de cette exposition. L'apport de l'alimentation est considérablement plus élevé que l'apport provenant de l'eau de boisson, même dans les régions où l'eau présente un contenu élevé de manganèse. Dans une étude réalisée en 1975, l'Environmental Protection Agency des États-Unis a estimé que l'apport quotidien total de manganèse est d'environ 3 mg.⁽²⁸⁾

Méthodes d'analyse et techniques de traitement

Il est possible de déterminer la quantité de manganèse présente dans l'eau par spectrométrie par absorption avec aspiration directe par une flamme air-acétylène (limite de détection : 0,01 mg/L). Par ailleurs, on peut également mesurer de faibles concentrations par chélation avec du dithiocarbamate de pyrrolidine d'ammonium, par extraction dans du méthylisobutylcétone et aspiration par une flamme air-acétylène.⁽²⁹⁾

Au cours du traitement général des approvisionnements d'eau, on procède souvent au traitement visant le manganèse en même temps qu'on élimine une partie du fer. On peut éliminer une partie du manganèse de l'eau par les procédés classiques de chloration-filtration, à un pH égal ou supérieur à 8,4.⁽³⁰⁾ Il s'avère difficile, dans le cas du manganèse, d'atteindre des concentrations inférieures à 0,05 mg/L.

Considérations sur la santé

Caractère essentiel

Le manganèse est un élément essentiel à la vie des humains et des animaux; il joue un rôle de premier plan dans la constitution d'enzymes et de métalloenzymes. On a souligné son rôle dans le métabolisme des carbohydrates, des lipides et des stérols et dans la phosphorylation oxydative. De plus, des études expérimentales sur des animaux souffrant de déficience de manganèse laissent croire que celui-ci joue un rôle dans la prévention de l'endommagement des tissus par suite de la peroxydation des lipides et dans le fonctionnement normal du système nerveux central.⁽³¹⁾

On n'a jamais relevé de déficiences graves de manganèse dans la population en général, mais une étude récente de caractère expérimental sur des humains dont le régime alimentaire comportait une déficience en manganèse (0,11 mg/j) a provoqué des dermatites et de l'hypocholestérolémie; on a également constaté des concentrations élevées de calcium et de phosphore dans le sérum.⁽³²⁾

On n'a pas encore fixé d'apport quotidien recommandé (AQR) de manganèse pour les Canadiens. Une récente synthèse qui s'est intéressée à toutes les études consacrées au métabolisme du manganèse chez l'être humain a permis de conclure que les estimations déjà faites concernant les doses quotidiennes de manganèse qui semblaient à la fois sûres et adéquates (2,5 à 5,0 mg/j) étaient trop basses; on recommandait pour les adultes une dose quotidienne qui pouvait varier de 3,5 à 7,0 mg.⁽³¹⁾ L'analyse statistique des études consacrées au métabolisme a permis de constater qu'un apport quotidien en manganèse d'environ 5 mg est nécessaire pour assurer l'équilibre positif de cet élément.

Absorption, répartition et excrétion

Les principales voies d'absorption du manganèse sont les voies respiratoire et gastro-intestinale; l'absorption du manganèse par voie cutanée est négligeable.⁽¹³⁾ Le manganèse organiquement lié peut être absorbé à travers la peau.⁽³³⁾

Le manganèse est absorbé dans l'intestin grêle grâce à un mécanisme actif de transport de haute affinité et de faible capacité.⁽³⁴⁾ Chez le nourrisson, le taux d'absorption du manganèse est extrêmement élevé : à la naissance, il approche les 99 %.⁽³⁵⁾ Ce taux diminue peu à peu avec l'âge pour se stabiliser chez l'adulte autour de 5,5 %.^(36,37) Un grand nombre de facteurs alimentaires affectent l'absorption du manganèse chez les humains. À de faibles niveaux d'apport de manganèse, la biodisponibilité de cet élément se trouve favorisée par la présence d'acide ascorbique et par un régime alimentaire carné, alors qu'elle est inhibée par certaines sources de fibres alimentaires.⁽³¹⁾ On sait que plusieurs ions métalliques — en particulier ceux du fer,

du magnésium et du calcium — réduisent l'absorption et la rétention du manganèse.⁽³¹⁾ Il semble bien qu'une eau de boisson douce procure un apport de manganèse plus élevé qu'une eau de boisson dure.⁽³⁸⁾

Chez l'être humain adulte, la charge totale de manganèse se situe entre 10 et 20 mg.⁽³⁹⁾ Ce sont les os qui en retiennent le plus, soit environ 25 % du total corporel;⁽⁴⁰⁾ la plus grande partie de cette charge semble déposée dans la partie inorganique des os, où elle joue un rôle de tampon. Le manganèse s'accumule également dans les tissus riches en mitochondries et en réticule endoplasmique; à part le squelette, les principaux sites d'accumulation du manganèse sont le foie, les muscles du squelette, le tissu conjonctif et l'intestin. Pour ce qui est de la concentration ($\mu\text{g Mn/g}$ de tissu), le manganèse s'accumule surtout dans les testicules, le foie, le pancréas et les reins.⁽²⁵⁾

La régulation de l'excrétion du manganèse semble être le principal mécanisme homéostatique du manganèse,⁽⁴¹⁾ même s'il semble parfois exister une certaine régulation de l'absorption.^(42,43) Le manganèse endogène est excrété dans la bile⁽⁴⁴⁾ par l'intermédiaire du foie pour être éliminé dans les fèces; lorsque le système biliaire est surchargé, les sécrétions pancréatiques et les autres sécrétions intestinales prennent le relais.⁽⁴⁵⁾ Il est difficile de quantifier la répartition de l'excrétion de la bile entre les diverses voies en raison de la réabsorption qui peut survenir. Mais celle-ci semble peu importante;⁽⁴⁶⁾ il est possible qu'elle dépende du contenu des fèces en calcium.⁽⁴⁷⁾ Les fluctuations de la quantité de manganèse dans le régime alimentaire ont peu d'effet sur la faible quantité de manganèse excrétée dans l'urine.⁽⁴⁸⁾

Il existe assez peu de données sur le taux d'élimination du manganèse chez les humains. Une étude récente mettant en cause 14 sujets montrait que le manganèse administré par voie orale était éliminé par deux processus séquentiels, les demi-vies biologiques étant respectivement de 13 jours (plage : 6-30) et 34 jours (plage : 26-54).⁽⁴⁹⁾ Le taux d'excrétion et la quantité de manganèse éliminée dépendent de plusieurs facteurs, dont l'apport en manganèse, la situation du fer dans l'organisme, l'influence d'autres éléments du régime alimentaire et les particularités de la constitution génétique du sujet.

Toxicité

Le manganèse est considéré comme l'un des éléments les moins toxiques. Des expériences d'ingestion chronique effectuées sur des lapins, des porcs et du bétail, utilisant des doses de 1 à 2 mg/g, n'ont entraîné aucun effet autre qu'une modification de l'appétit et un ralentissement dans le métabolisme du fer pour la formation de l'hémoglobine.⁽³³⁾ Mais des études expérimentales et épidémiologiques ont montré récemment que l'exposition au manganèse peut, en réalité,

entraîner des modifications dangereuses; certaines de ces modifications sont abordées plus bas.

De façon générale, les cations sont plus toxiques que les anions; l'ion Mn^{2+} s'avère plus toxique que l'ion Mn^{3+} .⁽⁵⁰⁾ L'anion associé peut affecter la toxicité du manganèse; l'ion citrate, par exemple, est plus toxique que l'ion chlorure. La toxicité varie non seulement suivant la valence, mais encore suivant la voie d'administration et, dans le cas de l'inhalation, suivant la grosseur des particules.

À part la pneumoconiose aiguë provoquée par la vapeur métallique par suite de l'inhalation ou de l'ingestion de dioxyde de manganèse, la toxicité chez l'humain résulte habituellement de l'inhalation répétée de fortes concentrations de manganèse dans les poussières provenant de sources industrielles.⁽⁵¹⁻⁵⁶⁾ Les principaux effets de l'exposition prolongée à des composés inorganiques de manganèse dans le cadre du travail se présentent sous la forme de la «pneumonie manganique» ou pneumonite⁽¹³⁾ ou, plus communément, sous celle du manganisme. Donaldson et Barbeau ont décrit en détail les manifestations neurologiques et les modifications biochimiques dues au manganisme.⁽⁵⁷⁾

Sauf pour un seul cas isolé, on ne rapporte pas de cas d'intoxication par le manganèse attribuable à l'utilisation d'eau de boisson. Une maladie ressemblant à l'encéphalite, signalée au Japon en 1941, a été attribuée à une eau de puits contaminée contenant 14 mg de manganèse par litre. Mais on trouvait aussi des concentrations excessivement élevées d'autres métaux (particulièrement de zinc) et on n'a jamais déterminé de façon concluante si la forte concentration de manganèse était à elle seule responsable ou non de la maladie.⁽⁵⁸⁾ La présence de 0,75 mg/L de manganèse dans l'approvisionnement en eau de boisson dans une autre partie du Japon n'a semblé produire aucun effet nocif sur la santé des personnes qui en ont consommé.⁽⁵²⁾

Plusieurs études expérimentales ont montré que l'exposition au manganèse pouvait provoquer des effets nocifs sur le système reproductif mâle. Chez le lapin, l'administration chronique de manganèse par voie parentérale a entraîné des modifications dégénératives des tubules séminifères, conduisant parfois à l'infécondité.⁽⁵⁹⁾ L'administration de Mn_3O_4 (haussmannite) à une concentration de 1 050 ppm dans l'alimentation donnée à des souris a ralenti la croissance et la prise de poids des testicules, des vésicules séminales et des glandes prépucciales.⁽⁶⁰⁾

Dans une récente étude épidémiologique sur la fertilité de travailleurs belges exposés à la poussière de manganèse dans une usine produisant de l'oxyde, du sulfate et du carbonate de manganèse, on a constaté que le nombre d'enfants nés des travailleurs exposés (âgés de 16 à 35 ans) était inférieur de moitié par rapport à un groupe de contrôle.⁽⁶¹⁾

Dans la littérature sur le manganèse, on relève certaines questions concernant un lien possible entre le manganèse et certaines déficiences humaines à la naissance.^(41,62,63) D'après certains travaux, la poussière de manganèse affecterait le comportement de souris nées de mères qui ont été exposées au cours de la gestation.⁽⁶⁴⁾

Le manganèse s'est avéré mutagène au cours de plusieurs études microbiennes^(65,66) ainsi que dans des études consacrées à la lignée de la cellule humaine.^(67,68)

Le manganèse provoque chez la souris des lymphosarcomes⁽⁶⁹⁾ et des adénomes.⁽⁷⁰⁾ Mais il n'existe aucune preuve à l'effet que le manganèse serait cancérigène chez les humains,⁽⁷¹⁾ malgré des expositions parfois considérables en milieu de travail.

Apport quotidien acceptable

On n'a noté aucun effet nocif sur la santé des humains dans le cas d'apports quotidiens de manganèse comme suit :

	Moyenne (en mg)	Étendue (en mg)
Aliments	3,0	2,0-7,0
Eau de boisson	0,005	0,0-1,0
Air	0,002	0,0-0,029

Autres considérations

La présence de manganèse dans les alimentations en eau potable est indésirable pour plusieurs raisons non liées à la santé. À des concentrations dépassant 0,15 mg/L, cet élément tache les appareils sanitaires et la lessive et donne un goût déplaisant aux boissons.⁽⁷²⁾ L'oxydation des ions de manganèse dissous entraîne la précipitation des oxydes de manganèse et provoque des problèmes d'entartrage. Même à des concentrations de l'ordre de 0,02 mg/L, le manganèse peut former à l'intérieur des canalisations d'aqueduc des dépôts qui peuvent se détacher sous forme de précipités noirs.⁽⁷³⁾ Le manganèse favorise également la croissance de certains organismes indésirables.^(72,74) La présence de «bactéries manganiques», qui ont pour effet de provoquer la concentration du manganèse, peut entraîner des problèmes de goût, d'odeur et de turbidité dans l'eau du réseau.

Justification

1. Le manganèse fait partie des éléments les moins toxiques pour les mammifères. Seule l'exposition à des concentrations extrêmes résultant d'activités humaines produit des effets nocifs pour la santé.

2. À des concentrations dépassant 0,15 mg/L, le manganèse tache les appareils sanitaires et la lessive; de plus, il donne un goût déplaisant aux boissons. Même à des concentrations aussi faibles que 0,02 mg/L, il peut causer des problèmes; il est cependant difficile de

réduire la concentration de manganèse à moins de 0,05 mg/L.

3. On a donc fixé l'objectif organoleptique du manganèse dans l'eau potable à $\leq 0,05$ mg/L. À ce niveau, on considère que le manganèse ne présente pas de risque pour la santé; il s'est déjà consommé sans danger de l'eau de boisson contenant du manganèse à des concentrations beaucoup plus élevées. On n'a donc pas fixé de concentration maximale acceptable.

Références bibliographiques

- Conseil canadien des ministres des ressources et de l'environnement (CCMRE). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Préparé par le groupe de travail sur les recommandations pour la qualité de l'eau, mars (1987).
- Énergie, Mines et Ressources Canada. Manganese. Dans : Canadian minerals yearbook 1985. Mineral Report No. 34. Direction des ressources minérales, Ottawa (1986).
- Rossmann, R. et Callendar, E. Manganese nodules in Lake Michigan. *Science*, 162 : 1123 (1968).
- Cronan, D.S. et Thomas, R.L. Ferromanganese concretions in Lake Ontario. *Can. J. Earth Sci.*, 7 : 1346 (1970).
- Harriss, R.C. et Troup, A.G. Freshwater ferromanganese concretions: chemistry and internal structure. *Science*, 166 : 604 (1969).
- Environnement Canada. Detailed surface water quality data, Northwest Territories 1980–1981, Alberta 1980–1981, Saskatchewan 1980–1981, Manitoba 1980–1981. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux (1984).
- Beamish, R.J. et Van Loon, J.L. Precipitation loading of acid and heavy metals to a small acid lake near Sudbury, Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34 : 649 (1977).
- Banque nationale de données sur la qualité de l'eau (NAQUADAT). Direction de la qualité de l'eau, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada (1976).
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Drinking water monitoring data (inédit) (1987).
- Jaques, A.P. National inventory of sources and emissions of manganese (1984). EPS 5/MM/1, Environnement Canada (1987).
- Klemm, R.F. et Gray, J.M.L. A study of the chemical composition of particulate matter and aerosols over Edmonton. Report RMD 82/9, prepared for the Research Management Division by the Alberta Research Council. 125 pp. (1982).
- Chan, W.H., Tang, A.J.A., Chung, D.H.S. et Lusia, M.A. Concentration and deposition of trace metals in Ontario 1982. *Water Air Soil Pollut.*, 29 : 373 (1986).
- Rodier, J. Manganese poisoning in Moroccan miners. *Br. J. Ind. Med.*, 12 : 21 (1955).
- Warren, H.C. Some trace element concentrations in various environments. Dans : Environmental medicine. G.M. Howe et J.A. Lorraine (dir. de publ.). William Heinemann Medical Books, Londres, R.-U., p. 9 (1973).
- Moran, J.B. The environmental implications of manganese as an alternate antiknock. Research Triangle Park, NC (1975).
- Kirkpatrick, D.C. et Coffin, D.E. The trace metal content of representative Canadian diets in 1970 and 1971. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 7 : 56 (1974).
- Noble, A.C., Orr, B.H., Cook, W.G. et Campbell, J.L. Trace element analysis of wine by proton induced X-ray fluorescence spectrometry. *J. Agric. Food Chem.*, 24 : 532 (1976).
- Méranger, J.C. The heavy metal content of fruit juices and carbonated beverages by atomic absorption. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 5 : 271 (1970).
- Méranger, J.C. et Smith, D.C. The heavy metal content of a typical Canadian diet. *Can. J. Public Health*, 63 : 53 (1972).
- Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social. Apports nutritionnels recommandés pour les Canadiens. Ottawa (1983).
- Guthrie, B.E. et Robinson, M.F. Daily intakes of manganese, copper, zinc and cadmium by New Zealand women. *Br. J. Nutr.*, 38 : 55 (1977).
- Hamilton, E.I. et Minski, M.J. Abundances of the chemical elements in man's diet and possible relations with environmental factors. *Sci. Total Environ.*, 1 : 375 (1973).
- Schlage, C. et Wortberg, B. Manganese in the diet of healthy preschool and school children. *Acta Paediatr. Scand.*, 27 : 648 (1972).
- Shiraishi, K., Kawamura, H. et Tanaka, G.I. Daily intake of elements as estimated from analysis of total diet samples in relation to reference Japanese man. *J. Radiat. Res.*, 27 : 121 (1986).
- Commission internationale de protection radiologique. Report No. 23 : Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, UK. 411 pp. (1984).
- Soman, S.D., Panday, V.K., Joseph, K.T. et Raut, S.R. Daily intake of some major and trace elements. *Health Phys.*, 17 : 35 (1969).
- Hill, R.J. Review of information on manganese and the oxidation products of MMT combustion (inédit). Rédigé pour le Ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, Ottawa (1988).
- U.S. Environmental Protection Agency. Scientific and technical assessment report on manganese. National Environmental Research Centre, Research Triangle Park, NC (1975).
- American Public Health Association/American Water Works Association/Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16^e édition. American Public Health Association, Washington, DC (1985).
- Wong, J.M. Chlorination filtration for iron and manganese removal. *J. Am. Water Works Assoc.*, 76(1) : 76 (1984).
- Zidenberg-Cherr, S. et Keen, C.L. Enhanced tissue lipid peroxidation: mechanism underlying pathologies associated with dietary manganese deficiency. Dans : Nutritional bioavailability of manganese. C. Kies (dir. de publ.). American Chemical Society, Washington, DC. p. 56 (1987).
- Friedman, B.J., Freeland-Graves, J.H., Bales, C.W., Behmardi, F., Shorey-Kutschke, R.L., Willis, R.A., Crosby, J.B., Trickett, P.C. et Houston, S.D. Manganese balance and clinical observations in young men fed a manganese-deficient diet. *J. Nutr.*, 117 : 133 (1987).
- National Research Council, Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants. Manganese. National Academy of Sciences, Washington, DC (1973).

34. Garcia-Aranda, J.A., Wapnir, R.A. et Lifshitz, F. *In vivo* intestinal absorption of manganese in the rat. *J. Nutr.*, 113 : 2601 (1983).
35. Zlotkin, S.H. et Buchanan, B.E. Manganese intakes in intravenously fed infants. *Biol. Trace Element Res.*, 9 : 271 (1986).
36. Crouse, R.G., Pories, W.J., Bray, J.T. et Manger, R.L. *Geochemistry and man: health and disease. I. Essential elements.* Dans : *Applied environmental geochemistry. I.* Thornton (dir. de publ.). Academic Press, New York, NY. p. 267 (1983).
37. Sandström, B., Davidsson, L., Cederblad, A. et Lönnerdal, B. A method for studying manganese absorption in humans. *Fed. Proc.*, 46 : 570 (1987).
38. Ingols, R.S. et Craft, T.F. Analytical notes: hard- vs soft-water effects on the transfer of metallic ions from intestine. *J. Am. Water Works Assoc.*, 68 : 209 (1976).
39. Schroeder, H.A., Balassa, J.J. et Tipton, I.H. Essential trace metals in man : manganese. A study in homeostasis. *J. Chronic Dis.*, 19 : 545 (1966).
40. Hurley, L.S. et Keen, C.L. Manganese. Dans : *Trace elements in human and animal nutrition. 5^e édition.* W. Mertz (dir. de publ.). Academic Press, San Diego, CA (1987).
41. Saner, G., Dagoglu, T. et Ozden, T. Hair manganese concentrations in newborns and their mothers. *Am. J. Clin. Nutr.*, 41 : 1042 (1985).
42. Organisation mondiale de la santé. Environmental health criteria for manganese. Avril, Genève (1975).
43. Abrams, E., Lassiter, J.W., Miller, W.J., Neathery, M.W., Gentry, R.P. et Blackmon, D.N. Effect of normal and high manganese diets on the role of bile in manganese metabolism in calves. *J. Anim. Sci.*, 45 : 1108 (1977).
44. Greenberg, D.M., Copp, D.H. et Cuthbertson, E.M. The distribution and excretion, particularly by way of the bile, of iron, cobalt, and manganese. *J. Biol. Chem.*, 147 : 749 (1943).
45. Bertinchamps, A.J., Millar, S.T. et Cotzias, G.C. Interdependence of routes excreting manganese. *Am. J. Physiol.*, 211 : 217 (1966).
46. Solomons, N.W. The other trace minerals; manganese, molybdenum, vanadium, nickel, silicon, and arsenic. Dans : *Absorption and malabsorption of mineral nutrients.* N.W. Solomons et I.H. Rosenberg (dir. de publ.). Alan R. Liss, New York, NY (1984).
47. Van Barneveld, A.A. et Van den Hamers, C.J.A. The influence of calcium and magnesium on manganese transport and utilization in mice. *Biol. Trace Element Res.*, 6 : 489 (1984).
48. Hine, C.H. et Pasi, A. Manganese intoxication. *West. J. Med.*, 123 : 101 (1975).
49. Sandström, B., Davidsson, L., Cederblad, A., Eriksson, R. et Lönnerdal, B. Manganese absorption and metabolism in man. *Acta Pharmacol. Toxicol.*, 59(7) : 60 (1986).
50. Smith, R.G. Dans : *Metallic contaminants and human health.* D.H.K. Lee (dir. de publ.). Academic Press, New York, NY (1972).
51. Schuler, P., Oyanguren, H., Maturana, V., Valenzuela, A., Cruz, R., Plaza, V., Schmidt, E. et Haddad, R. Manganese poisoning. *Ind. Med. Surg.*, 26 : 167 (1957).
52. Suzuki, T. Manganese pollution of the environment. *Ind. Med. (Sangyo Igaku-Japan)*, 12 : 529 (1970).
53. Cotzias, G.C., Papavasiliou, P.S., Ginos, J.P., Steck, A. et Duby, S. Metabolic modification of Parkinson's disease and of chronic manganese poisoning. *Annu. Rev. Med.*, 22 : 305 (1971).
54. Emara, A.M., El-Ghawabi, S.H., Madkour, O.I. et El-Samna, G.H. Chronic manganese poisoning in the dry battery industry. *Br. J. Ind. Med.*, 28 : 78 (1971).
55. Jonderko, G., Kujawska, A. et Langauer-Lewowicka, H. Problems of chronic manganese poisoning on the basis of investigations of workers at a manganese alloy foundry. *Int. Arch. Arbeitsmed.*, 28 : 250 (1971).
56. Rosenstock, H.A., Simons, D.G. et Meyer, J.S. Chronic manganism. Neurologic and laboratory studies during treatment with levodopa. *J. Am. Med. Assoc.*, 217 : 1354 (1971).
57. Donaldson, J. et Barbeau, A. Manganese neurotoxicity: possible clues to the etiology of human brain disorders. *Met. Ions Neurol. Psychiatry*, 15 : 259 (1985).
58. Organisation mondiale de la santé. Environmental health criteria programme for manganese and its compounds. Rapport japonais (1974).
59. Chandra, S. et Tandon, S.K. Enhanced manganese toxicity in iron-deficient rats. *Environ. Physiol. Biochem.*, 4 : 16 (1974).
60. Gray, L.E. et Laskey, J.W. Multivariate analysis of the effects of manganese on the reproductive physiology and behaviour of the male house mouse. *J. Toxicol. Environ. Health*, 6 : 861 (1980).
61. Lauwerys, R., Roels, H., Genet, P., Toussaint, G., Bouckaert, A. et De Cooman, S. Fertility of male workers exposed to mercury vapor or to manganese dust: a questionnaire study. *Am. J. Ind. Med.*, 7 : 171 (1985).
62. Marienfeld, C.L. et Collins, M. The ebb and flow of manganese. A possible pathogenic factor in birth defects, cancer and heart disease. *Trace Substances Environ. Health*, 15 : 3 (1981).
63. Gol'dina, I.R., Nadeenko, V.G., Salchenko, S.P., D'Yachenko, O.Z., Senchenko, V.G. et Vasalygina, V.V. Toxicological evaluation of manganese during intake in drinking water. *Gig. Sanit.*, II : 80 (1984) [*Nutr. Abstr. Rev.*, 55 : 6416 (1985)].
64. Massaro, E.J., D'Agostino, R.B., Stineman, C.H., Morganti, J.B. et Lown, B.A. Alterations in behaviour of adult offspring of female mice exposed to MnO₂ dust during gestation. *Fed. Proc.*, 39 : 623 (1980).
65. Demeric, M. et Hanson, J. Mutagenic action of manganese chloride. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, 16 : 215 (1951).
66. Putrament, K.A., Baranowska, H. et Prazmo, W. Induction by manganese of mitochondrial antibiotic resistance mutations in yeast. *Mol. Gen. Genet.*, 126 : 357 (1973).
67. Linn, S., Kairis, M. et Holliday, R. Decreased fidelity of DNA polymerase activity isolated from aging human fibroblast. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 73 : 2818 (1976).
68. Seal, G., Shearman, C. W. et Loel, L. Studies with human placenta DNA polymerases. *J. Biol. Chem.*, 254 : 5229 (1979).
69. DiPaslo, J.A. The potentiation of lymphosarcomas in the mouse by manganous chloride. *Fed. Proc.*, 23 : 393 (1964).
70. Stoner, G.D., Shimkin, M.B., Troxell, M.C., Thompson, T.L. et Terry, L. Test for carcinogenicity of metallic compounds by the pulmonary tumor response in strain A mice. *Cancer Res.*, 36 : 1744 (1976).
71. Costa, M., Kraker, A.J. et Paterns, R. Toxicity and carcinogenicity of essential and non-essential metals. Dans : *Progress in clinical biochemistry and medicine.* Springer-Verlag, Berlin (1984).

72. Griffin, A.E. Significance and removal of manganese in water supplies. *J. Am. Water Works Assoc.*, 52 : 1326 (1960).
73. Bean, E.L. Potable water-quality goals. *J. Am. Water Works Assoc.*, 66 : 221 (1974).
74. Wolfe, R.S. Microbial concentration of iron and manganese in water with low concentrations of these elements. *J. Am. Water Works Assoc.*, 52 : 1335 (1960).