

---

## *Le sulfure (sous forme de H<sub>2</sub>S)*

La présence de sulfure (sous forme de sulfure d'hydrogène) dans l'eau potable lui donne un goût et une odeur désagréables. C'est pourquoi on a fixé un objectif d'ordre organoleptique de  $\leq 0,05$  mg/L ( $\leq 50$  µg/L) (exprimé en sulfure d'hydrogène).

### **Généralités**

Le soufre est un corps non métallique. Ses valences les plus courantes sont -2, +4 et +6; le degré d'oxydation -2 est connu sous le nom de sulfure. Le sulfure se trouve à l'état naturel dans les minerais, le pétrole et les gisements de charbon. Dans la plupart des cas, le cuivre, le plomb, le zinc, le nickel et autres métaux non précieux extraits au Canada existent sous forme de sulfures simples ou complexes. Les sulfures de fer sont souvent associés à ces minerais.<sup>(1)</sup>

Le sulfure d'hydrogène, qui existe normalement sous forme de gaz incolore, se trouve également à l'état naturel dans le charbon, le gaz naturel, le pétrole, les gaz volcaniques ainsi que dans les sources et lacs sulfureux. Il est produit par la dégradation anaérobie des matières organiques contenant du soufre; d'autres composés sulfureux sont presque toujours présents en plus du sulfure d'hydrogène dans ces sources naturelles. Le gaz a une odeur caractéristique d'œufs pourris.<sup>(2)</sup>

D'autres sulfures sont également produits par les bactéries sulfato-réductrices au cours de la dégradation anaérobie des déchets, des algues, des dépôts naturels de matière organique<sup>(3-5)</sup> et du soufre contenu dans les fongicides, les pesticides et les fertilisants.<sup>(6,7)</sup> Les sulfures sont également présents dans les déchets industriels des raffineries, des usines pétrochimiques, des usines de gaz, des usines de papier, des usines d'eau lourde et des tanneries.<sup>(3,4,8,9)</sup>

La concentration moyenne de soufre dans la croûte terrestre est estimée à 260-520 mg/kg. Dans l'eau de mer, la concentration moyenne du soufre est de 884 mg/L.<sup>(10)</sup> Dans les organismes vivants, la concentration moyenne de sulfure est de 1,4 mg/kg;<sup>(11)</sup> le soufre de degré d'oxydation -2 est directement lié au carbone dans les acides aminés, les vitamines, les enzymes et d'autres protéines.<sup>(12)</sup> Les sulfures constituent un maillon indispensable dans le cycle du soufre (interconversion réversible des sulfures et des sulfates) dans la nature.<sup>(13)</sup>

Le diméthylsulfure entre dans la composition des agents artificiels d'aromatisation.<sup>(14)</sup> Le sulfure d'hydrogène et d'autres sulfures solubles sont employés dans la fabrication des pigments et des teintures, en tannerie et dans le traitement de la pâte et des produits chimiques. Ils sont aussi employés dans la fabrication des cosmétiques.<sup>(15)</sup> Les eaux naturelles renfermant des concentrations élevées de sulfure d'hydrogène sont utilisées dans les bains thérapeutiques; on les a consommées à des fins médicales.

Au Canada, la production de sulfure d'hydrogène par les fabricants de pigments et de teintures s'est élevée à 10,7 tonnes en 1974. Les fabricants de produits chimiques industriels ont produit 2 461 tonnes de sulfure d'hydrogène au cours de la même période.<sup>(16)</sup> La consommation de sulfure d'hydrogène par les fabricants canadiens de produits chimiques industriels était de 3 153 tonnes en 1980.<sup>(17)</sup> L'importation de divers composés de sulfures au Canada totalisait 1 594 tonnes en 1982.<sup>(18)</sup>

### **Présence dans l'environnement**

Le sulfure d'hydrogène et les sulfures des métaux alcalins et alcalino-terreux sont solubles dans l'eau.<sup>(19)</sup> Les sels de sulfure solubles se dissocient en ions sulfure qui réagissent avec les ions hydrogène de l'eau pour former l'ion hydrosulfure (HS<sup>-</sup>) ou le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). Les concentrations relatives de ces espèces sont fonction du pH de l'eau; les concentrations de sulfure d'hydrogène augmentent avec la diminution du pH.<sup>(3,4)</sup> Par conséquent, dans les eaux polluées où le pH peut être neutre ou acide, la possibilité de formation du sulfure d'hydrogène se trouve augmentée.

La température, la salinité et l'oxygène dissous influent également sur la quantité de sulfure d'hydrogène présente sous forme non dissociée. La température influe sur les constantes de dissociation du sulfure d'hydrogène. On a montré que la proportion de sulfure d'hydrogène non dissocié diminuait avec l'augmentation de la salinité pour une température et un pH donnés. Cet effet est cependant négligeable dans les eaux douces et ne devient appréciable que dans les eaux d'estuaire et les eaux côtières.<sup>(20)</sup> Le sulfure d'hydrogène non dissocié était non décelable dans la

baie de Floride,<sup>(21)</sup> et on a enregistré une concentration maximale de 14 µg/L dans la mer d'Oman.<sup>(22)</sup>

L'oxydation du sulfure d'hydrogène est également fonction de la température, du pH et de la force ionique. On a montré que le taux d'oxydation du sulfure d'hydrogène augmentait avec la température et le pH jusqu'à un pH de 8. Au-dessus de cette valeur, le taux d'oxydation était indépendant du pH. De plus, les taux d'oxydation étaient plus élevés dans l'eau de mer que dans l'eau saturée d'air.<sup>(23)</sup> Dans l'eau bien aérée, le sulfure d'hydrogène est oxydé en sulfates ou en soufre élémentaire par les systèmes biologiques naturels.<sup>(24)</sup> Les sulfures peuvent aussi réagir chimiquement avec l'oxygène dissous, mais l'on croit qu'il s'agit là d'un processus lent et complexe qui génère divers produits, y compris le thiosulfate, le sulfite et le sulfate.<sup>(25)</sup>

L'oxydation du sulfure aqueux par l'oxygène est lente en l'absence d'un catalyseur. En ordre décroissant, la catalyse a été le plus efficace en présence de  $Mn^{2+}$ , de  $Co^{2+}$ , de  $Ni^{2+}$ , de  $Fe^{2+}$  et de  $Cu^{2+}$ . En présence de nickel, par exemple, le taux d'oxydation du sulfure passait de plusieurs jours à quelques minutes.<sup>(26)</sup>

La réduction du sulfate en sulfure survient dans la nature en milieu anaérobie en présence de bactéries sulfato-réductrices et d'une source de carbone organique. Ces conditions ont été observées dans des puits d'eau profonde à Elgin, en Illinois, dans lesquels on a mesuré des concentrations de 6,4 mg/L de sulfure d'hydrogène et de seulement 2,0 mg/L de sulfate.<sup>(26)</sup> Les eaux naturelles où l'oxygène dissous a été complètement épuisé comprennent la mer Noire, la mer Baltique et certains fjords des côtes de la Norvège et de l'Ouest du Canada.<sup>(20)</sup> Une concentration de 7 mg/L de sulfure d'hydrogène non dissocié a été signalée dans une région anoxique de la mer Noire à des profondeurs de 200 m environ.<sup>(21)</sup>

À Saint Paul, au Minnesota, on a trouvé que la concentration de sulfure dans le Mississippi était de 0,092 mg/L; les concentrations étaient quelque peu plus élevées dans les eaux d'étang et les eaux de puits, soit 0,16 et 0,19 mg/L respectivement.<sup>(27)</sup> Dans la Rainy River, le long de la frontière entre l'Ontario et le Minnesota, la concentration moyenne de sulfure d'hydrogène était de 0,07 mg/L à 20 mm du fond des lits de boue et elle variait d'une valeur non décelable à 0,06 mg/L en surface.<sup>(9)</sup>

Les concentrations de sulfure d'hydrogène dans l'eau ne sont pas couramment mesurées au Royaume-Uni ni dans les autres pays de la Communauté européenne. Dans deux études des systèmes d'eaux douces effectuées aux États-Unis, on a signalé des concentrations de sulfure d'hydrogène non dissocié de 500 µg/L.<sup>(28,29)</sup> Les concentrations de sulfure dans les eaux de surface variaient de 1,0 à 11,0 mg/L entre 1980 et 1982 dans l'Ouest du Canada.<sup>(30)</sup>

Les concentrations de sulfure trouvées dans l'eau potable sont habituellement faibles parce que les sulfures sont facilement oxydés dans les eaux bien aérées. Dans les conditions aérobies qui existent le plus souvent dans les réseaux publics d'approvisionnement en eau, le produit ultime de l'oxydation du sulfure est le sulfate. Les produits intermédiaires, le sulfite et le thiosulfate, peuvent persister pendant de longues périodes.<sup>(26)</sup> La présence de bactéries sulfato-réductrices dans les systèmes de distribution d'eau peut être une des principales causes de problèmes d'odeur et de goût parce que ces bactéries transforment le sulfate en sulfure.

Les concentrations de sulfure d'hydrogène dans l'air qui sont attribuables à des sources naturelles sont estimées entre 0,15 et 0,46 µg/m<sup>3</sup>.<sup>(8)</sup> Dans les zones urbaines, la population en général n'est pas habituellement exposée à des concentrations supérieures à 1,0 µg/m<sup>3</sup>.<sup>(31)</sup> Dans les zones industrialisées, les concentrations de sulfure d'hydrogène sont significativement plus élevées. Au pont des chutes réversibles de Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick, qui se trouve à 400 m sous le vent d'une usine de pâtes et papier utilisant le procédé Kraft, la concentration de sulfure d'hydrogène dans l'air se situait entre 4,56 et 198,0 µg/m<sup>3</sup>.<sup>(32)</sup> Le Conseil national de recherches du Canada a calculé que le rejet biogène annuel de sulfure dans l'atmosphère au Canada était de  $4,02 \times 10^6$  tonnes en provenance de la terre et de  $1,0 \times 10^6$  tonnes en provenance des océans.<sup>(33)</sup>

Le sol constitue un important réservoir de sulfure d'hydrogène. Les sols secs et les sols humides sont également efficaces dans la sorption du sulfure d'hydrogène de l'air.<sup>(32,34)</sup> Les microorganismes génèrent des sulfures à partir des composés de soufre présents dans le sol. Aux États-Unis, les concentrations de sulfure dans les sols des wadden d'Oregon variaient entre 116 et 188 mg/kg.<sup>(35)</sup>

Les sulfures sont aussi présents sous diverses formes dans un certain nombre d'aliments cuits et crus. Généralement, les concentrations se situent entre 0,000 2 et 0,003 mg/g, bien que la concentration de S-méthylméthionine puisse atteindre 0,015 mg/g.<sup>(36)</sup> Le diméthylsulfure est un important agent d'aromatisation entrant dans la fabrication des bières anglaises traditionnelles (de 0,000 2 à 0,003 7 mg/L) et des bières basses européennes (de 0,003 à 0,114 mg/L).<sup>(9)</sup> Dans les produits laitiers chauffés, le sulfure d'hydrogène est présent à des concentrations allant de 0,80 mg/L dans le lait écrémé contenant 0,1 % de matières grasses à 1,84 mg/L dans la crème qui contient 30,5 % de gras.<sup>(37)</sup>

### Exposition des Canadiens

L'apport alimentaire quotidien de sulfure chez les Canadiens n'a pas été estimé. Les données relatives à la teneur en sulfure des aliments sont incomplètes. L'exposition peut résulter de la consommation de bière,

de bière anglaise, de fruits de mer, de viandes cuites, de lait tiède, d'asperges et d'autres légumes. L'estimation de l'exposition par voie alimentaire est rendue encore plus complexe par l'évolution des composés de sulfure dans les aliments cuits. En Angleterre, le «seuil maximal quotidien possible» de diméthylsulfure en provenance des confiseries, des boissons gazeuses, des crèmes et des gelées à aromatisation artificielle a été estimé à 1,7 mg.<sup>(38)</sup>

L'apport de sulfure par l'eau potable ne peut être estimé, car on n'a trouvé aucune donnée sur les concentrations de sulfure dans l'eau potable.

L'inhalation de 20 m<sup>3</sup> d'air contenant du sulfure d'hydrogène à des concentrations naturelles représenterait un apport quotidien de 0,003 à 0,02 mg.

### Analyse

Parmi les méthodes d'analyse des sulfures dans l'eau, on compte le procédé classique de déplacement, dans lequel le sulfure d'hydrogène libéré par l'acidification des sulfures est déplacé dans un jet de dioxyde de carbone et titré après absorption dans une solution d'acétate de zinc. Le seuil de détection de la méthode classique est d'environ 0,25 mg/L.<sup>(39)</sup> Une concentration de 0,06 mg/L a été obtenue au moyen d'une autre méthode fondée sur le même principe.<sup>(40)</sup>

Dans une méthode plus récente faisant appel à la chromatographie en phase gazeuse, on utilise un détecteur à conductibilité électrolytique de Hall modifié. Avec cette méthode, il est possible de déterminer simultanément la présence de plus de sept espèces différentes de sulfures volatils. Des seuils de détection (sous forme de soufre) de 0,03 ng/L de sulfure d'hydrogène peuvent être obtenus dans un échantillon de 100 mL. La précision est supérieure à 10 % dans la gamme de concentrations de 1 à 4 000 ng/L (sous forme de soufre).<sup>(41)</sup>

La méthode colorimétrique au bleu de méthylène est une autre méthode analytique généralement reconnue pour la détermination des concentrations de sulfure d'hydrogène dont la spécificité, l'exactitude et la sensibilité se sont révélées relativement satisfaisantes.<sup>(31)</sup> Une gamme de concentrations allant de 0 à 20 mg/L peut être analysée par la méthode colorimétrique au bleu de méthylène et par spectrophotométrie.<sup>(42)</sup>

Une méthode de détermination de la concentration totale de sulfure dans les eaux environnementales conservées par l'acétate de zinc a récemment été mise au point. Cette méthode élimine à la fois les perturbations dues à la turbidité qui sont inhérentes à la méthode colorimétrique au bleu de méthylène et la nécessité de conserver les échantillons par les ions zinc. Le seuil de détection de cette méthode est de 1,9 ng/mL et l'on a trouvé une correspondance satisfaisante entre la méthode par dialyse des gaz et chromatographie ionique et la méthode colorimétrique au bleu de méthylène.<sup>(43)</sup>

### Technique de traitement

La lutte contre le sulfure pourrait commencer à la source d'eau brute, dans la chaîne de procédés ou encore dans le système de distribution, au moyen de mesures qui préviennent sa formation.

Le sulfure d'hydrogène est ordinairement éliminé de l'eau par aération ou par oxydation chimique. Les dispositifs d'aération utilisés dans les usines d'épuration vont des systèmes mécaniques simples aux tours d'aération à garnissage, qui sont plus complexes.<sup>(44)</sup> On a constaté que l'élimination optimale du sulfure d'hydrogène par aération survenait à un pH inférieur à 6.<sup>(45)</sup> Généralement, on peut obtenir par ces méthodes des concentrations de sulfure d'hydrogène de 0,05 mg/L.

Les oxydants employés dans l'oxydation du sulfure comprennent le chlore, le permanganate de potassium, l'ozone et le ferrate ainsi que le peroxyde d'hydrogène.

### Effets sur la santé

#### Absorption, distribution et excrétion

Le sulfure d'hydrogène est rapidement absorbé par l'organisme, et il l'est presque exclusivement par inhalation. Au pH physiologique moyen (environ 7), la moitié du sulfure d'hydrogène se trouve sous forme non dissociée, alors que le reste existe sous forme d'ion hydrosulfure. Le sulfure d'hydrogène non dissocié est une molécule lipophile capable de diffuser à travers les membranes,<sup>(33,46)</sup> ainsi qu'à travers la peau.<sup>(47,48)</sup> Les sulfures solubles sont rapidement et complètement hydrolysés dans les fluides organiques pour produire du sulfure d'hydrogène, de sorte qu'en matière d'effets généralisés et de toxicité il n'existe aucune distinction reconnue entre les sulfures solubles et le sulfure d'hydrogène.<sup>(2)</sup>

Aucune étude sur l'élimination du sulfure d'hydrogène chez l'homme n'a été signalée. Une étude qualitative de l'élimination visant à déceler le sulfure d'hydrogène après inhalation par des rats et des cobayes a indiqué que le sulfure d'hydrogène était distribué dans le cerveau, le foie, les reins, le pancréas et l'intestin grêle.<sup>(49)</sup> Dans d'autres études, on a signalé que le sulfure d'hydrogène absorbé se trouve dans le plasma sanguin, principalement lié à l'albumine,<sup>(47)</sup> et qu'il est distribué dans les os, la rate, les poumons, le foie, les reins, le pancréas et l'intestin grêle.<sup>(33,50)</sup>

Le métabolisme du sulfure d'hydrogène s'effectue par trois voies métaboliques distinctes : (1) l'oxydation en sulfate, la principale voie métabolique, (2) la méthylation<sup>(51)</sup> et (3) la réaction avec des métalloprotéines ou des protéines disulfurées. Les deux premières voies métaboliques peuvent être considérées comme des voies de détoxification, alors que la réaction du sulfure d'hydrogène avec des protéines essentielles est largement responsable de l'effet toxique du sulfure d'hydrogène.<sup>(50)</sup>

L'oxydation du sulfure en sulfate et son excrétion subséquente par le rein constituent la principale voie d'excrétion métabolique.<sup>(52)</sup> On a montré que la plus grande partie d'une dose orale, intrapéritonéale ou intraveineuse de sulfure de sodium radiomarqué administrée à des rats était excrétée dans l'urine sous forme de sulfate pendant les six à 12 heures qui suivent son administration.<sup>(47)</sup> Une autre étude a également montré que le sulfure d'hydrogène ingéré est excrété principalement dans l'urine sous forme de sulfate.<sup>(10)</sup>

### Effets toxiques

On a signalé que l'ingestion orale de sulfures alcalins causait des nausées, des vomissements et des douleurs épigastriques ainsi qu'une irritation des muqueuses; on a estimé qu'une dose orale de 10 à 15 g de sulfure de sodium serait fatale pour l'homme.<sup>(53,54)</sup> Comme il s'agit d'une dose relativement élevée, et comme il existe un système enzymatique intestinal de détoxification pour éliminer les sulfures d'origine endogène, on ne prévoit pas que les faibles quantités de sulfure qui pourraient être présentes dans l'eau potable puissent entraîner des effets toxiques.

La toxicité aiguë du sulfure d'hydrogène absorbé par inhalation est bien documentée et elle comprend des effets respiratoires, cardiaques et nerveux.<sup>(50,55,56)</sup> Les principaux effets toxiques sont liés à l'inactivation des enzymes, soit par la rupture des ponts disulfures, soit par la liaison du sulfure avec des co-facteurs métalliques comme le  $Fe^{2+}$ , le  $Mg^{2+}$  ou le  $Cu^{2+}$ . De cette manière, les enzymes clés comme l'oxydase cytochrome, la phosphatase alcaline et l'anhydrase carbonique peuvent subir une dénaturation irréversible.<sup>(33)</sup>

On n'a pas encore étudié les répercussions sur la santé humaine de l'exposition prolongée à des doses faibles de sulfure d'hydrogène, soit le type d'exposition qui peut survenir dans des conditions de pollution générale de l'air en milieu urbain.<sup>(50)</sup>

On n'a trouvé aucune étude sur les effets toxiques du sulfure d'hydrogène présent dans l'eau potable. Cependant, il importe de noter que les sulfites ne sont pas stables, même s'ils peuvent persister dans l'eau pendant de longues périodes.<sup>(26)</sup>

Une recherche documentaire ne révèle que peu de données sur l'exposition par voie orale ou sur les effets nocifs d'une exposition chronique. Dans le Registry of Toxic Effects of Chemical Substances,<sup>(57)</sup> on a signalé des valeurs de  $DL_{50}$  orale de 205 et de 208 mg/kg pour le sulfure de sodium chez la souris et le rat respectivement. À la suite de l'administration par voie intrapéritonéale de sulfure de sodium à des souris CD-1 femelles, on a observé une  $DL_{50}$  située entre 40 et 50 mg/kg. L'administration intraveineuse de 6 mg/kg de sulfure de sodium à des lapins mâles et femelles a provoqué la mort de cinq animaux sur six en moins de deux minutes.<sup>(58)</sup> Une dose de 4 mg de sulfure

d'hydrogène par kilogramme de poids corporel était létale pour les chiens lorsqu'elle était injectée dans la veine jugulaire.<sup>(59)</sup>

Dans une étude de toxicité sous-chronique, le diméthylsulfure administré par voie orale à la dose de 250 mg/kg par jour pendant une période de 14 semaines n'a entraîné aucun effet négatif chez le rat.<sup>(14)</sup>

Aucune étude de l'exposition chronique au sulfure d'hydrogène n'a été trouvée.

Des rats Charles River CD (26/sexe/groupe) ont reçu 9 ou 18 mg/kg de sulfure de sodium dans l'eau par gavage, soit en présence, soit en absence d'un extrait thyroïdien à 1 %. Les animaux étaient traités deux fois la semaine pendant les 56 premières semaines de l'étude et recevaient deux ou trois doses par semaine par la suite. Le traitement a pris fin à la 78<sup>e</sup> semaine, après quoi les animaux ont été observés pendant encore 26 semaines. Chez les mâles traités sans l'extrait thyroïdien à 1 %, la mortalité était liée de manière significative à la dose reçue. Cependant, ce lien n'a pas été mis en évidence chez les mâles traités avec l'extrait thyroïdien à 1 %. Les femelles traitées avec l'extrait thyroïdien ont montré un taux de mortalité plus élevé dont le degré de signification n'a pas été spécifié. Le taux de survie était également faible chez les témoins. Selon les auteurs, les résultats étaient «ambigus». On n'a trouvé aucun signe de la cancérogénicité du sulfure de sodium.<sup>(60)</sup>

Peu d'études *in vitro* ont été effectuées pour déterminer le pouvoir mutagène du sulfure d'hydrogène. Celui-ci a été testé avec les souches TA97, TA98 et TA100, avec et sans la fraction S-9 de foies de hamster et de rat induits par l'Arochlor et il n'a montré aucune propriété mutagène.<sup>(61)</sup> Dans une autre étude, l'ajout de sulfure d'hydrogène (sous forme de sulfure de sodium) au milieu d'incubation en présence de peroxyde d'hydrogène a provoqué une augmentation spectaculaire de l'induction par le peroxyde d'hydrogène de la toxicité et du taux de mutations sujettes à erreur.<sup>(62)</sup> Cet effet peut être appréciable lorsque le peroxyde d'hydrogène est employé comme agent oxydant dans les procédés de traitement de l'eau. Dans une étude *in vivo* au cours de laquelle des rats (souche non précisée, administration probable par inhalation) ont été exposés au sulfure d'hydrogène ou au disulfure de carbone pendant trois à quatre mois, on a signalé des aberrations chromosomiques (aneuploïdie, délétions, fragmentation acentrique) dans la moelle osseuse des rats adultes et une diminution de l'index mitotique dans les cellules rénales et hépatiques des embryons en développement.<sup>(63)</sup>

Dans une étude de la reproduction, on a observé que le sulfure d'hydrogène était toxique pour les embryons et qu'il exerçait un effet défavorable sur la fonction reproductrice des rats. Cependant, le manque de détails sur l'étude ainsi que des méthodes de recherche

douteuses jettent un doute sur les résultats. Des eaux thermales minérales à forte teneur en sulfure d'hydrogène ont été utilisées comme milieu expérimental dans lequel des rats (souche et nombre non précisés) ont été immergés et ont subi une administration orale (durée et dose exacte non précisées) d'eau contenant diverses concentrations de sulfure d'hydrogène. L'eau contenant de 4 à 12 mg/L de sulfure d'hydrogène a montré des effets toxiques pour l'embryon (tant pour l'exposition orale que pour l'exposition cutanée); les concentrations de 2 à 3 mg/L n'ont eu aucun effet. On n'a pas tenu compte de la présence d'autres contaminants dans l'eau.<sup>(64)</sup>

Dans une autre étude, le sulfure d'hydrogène d'origine minérale présent à des concentrations de <0,2 mg/L dans l'eau potable tirée d'un puits artésien n'a eu que peu d'effets sur les fonctions hématologiques, bactériologiques, histologiques et biologiques de poulets de trois mois (durée de l'exposition non précisée).<sup>(65)</sup>

L'exposition de rats femelles au sulfure d'hydrogène et au disulfure de carbone, par voie d'inhalation et à raison de 10 mg/m<sup>3</sup> pendant 70 à 90 jours avant et pendant la gestation, s'est révélée mortelle pour les embryons aux stades de pré- et de post-implantation. On a aussi observé des effets embryotoxiques lorsque le sulfure d'hydrogène était inhalé par les mâles avant l'accouplement avec des femelles non traitées. On a observé des anomalies des appareils urogénital et squelettique chez les embryons. Des troubles de l'ossification et de la formation du sang ainsi que des modifications dystrophiques du foie et des reins ont également été observés. Cependant, en raison de la présence du disulfure de carbone, on ignore le rôle du sulfure d'hydrogène dans la production de ces effets.<sup>(66)</sup>

### Autres considérations

On estime que le seuil de goût et d'odeur du sulfure d'hydrogène dans les solutions aqueuses varie de 0,05 à 0,104 mg/L;<sup>(3,6)</sup> dans le cas des sulfures, il est d'environ 0,2 mg/L. Il est donc peu probable que la consommation d'eau potable puisse entraîner l'ingestion d'une dose nuisible de sulfure d'hydrogène en raison du goût et de l'odeur désagréables qu'il donne à l'eau.<sup>(3)</sup>

Les solutions de sulfure d'hydrogène possédant les propriétés d'un acide faible, elles peuvent favoriser la corrosion.<sup>(67)</sup> Dans quelques cas, la détérioration des conduites en amiante-ciment peut être réduite par l'élimination du sulfure d'hydrogène, qui peut attaquer les conduites dans des conditions de faible pH.<sup>(68)</sup> Le sulfure d'hydrogène, en association avec le fer soluble, laisse des taches noires sur la lessive et peut provoquer des dépôts noirs dans les conduites de distribution d'eau, sur la robinetterie et sur l'argenterie.<sup>(10,15,69)</sup>

### Justification

1. Des concentrations excessives de sulfure donnent à l'eau potable un goût et une odeur désagréables. Bien que l'ingestion orale de grandes quantités de sulfure puisse avoir des effets toxiques pour l'homme, il est peu probable qu'une personne puisse consommer une dose nuisible de sulfure d'hydrogène en raison du goût et de l'odeur désagréables qu'il donne à l'eau potable. On n'a donc fixé aucune concentration maximale acceptable.

2. On estime que le seuil du goût et de l'odeur du sulfure d'hydrogène dans les solutions aqueuses varie de 0,05 à 0,104 mg/L. Dans le cas des autres sulfures, les seuils sont plus élevés.

3. En conséquence, on a fixé pour le sulfure (sous forme de sulfure d'hydrogène) dans l'eau potable un objectif de qualité esthétique ou organoleptique de ≤0,05 mg/L. La quantité ingérée avec de l'eau potable contenant du sulfure à cette concentration est bien inférieure à la capacité de détoxification de l'organisme.

### Références bibliographiques

1. Conseil national de recherches du Canada. Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. CNRC n° 15015, Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa (1977).
2. U.S. National Research Council. Hydrogen sulphide. Committee on Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants, Subcommittee on Hydrogen Sulphide. University Park Press, Baltimore, MD (1979).
3. McKee, J.E. et Wolf, H.W. Water quality criteria. 2<sup>e</sup> édition. Resources Agency of California State Water Resources Control Board (1963).
4. U.S. Environmental Protection Agency. Quality criteria for water. Washington, DC. p. 410 (1976).
5. Adelmah, I.R. et Smith, L.L. Toxicity of hydrogen sulphide to goldfish (*Carassius auratus*) as influenced by temperature, oxygen, and bioassay techniques. J. Fish. Res. Board Can., 29 : 1309 (1972).
6. Acree, T.E. et Splittstoesser, D.F. Prevention of H<sub>2</sub>S in wine fermentation. N.Y. Food Life Sci. Q., 5 : 19 (1972).
7. Kadota, H. et Ishida, Y. Production of volatile sulphur compounds in microorganisms. Annu. Rev. Microbiol., 26 : 127 (1972).
8. Booras, S.G. Hydrogen sulphide health effects and recommended air quality standard. NTIS PB-233843, Illinois Institute for Environmental Quality (1974).
9. Colby, P.J. et Smith, L.L. Survival of walleye eggs and fry on paper fibre sludge deposits in Rainy River, Minnesota. Trans. Am. Fish. Soc., 96 : 278 (1967).
10. Weast, R.C. Handbook of chemistry and physics. 54<sup>e</sup> édition. CRC Press, Cleveland, OH (1973).
11. Gymer, R.G. Chemistry — an ecological approach. Harper and Row Publishers, New York, NY (1973).
12. Peck, H.D. Sulphur requirements and metabolism of microorganisms. Dans : Symposium: Sulphur in nutrition. D.H. Muth et J.E. Oldfield (dir. de publ.). Ari Publishing Co., Westport, CT (1970).

13. Smith, R.L. Ecology and field biology. 2<sup>e</sup> édition. Harper and Row Publishers, New York, NY (1974).
14. Butterworth, K.R., Carpanini, F.M.B., Caunt, I.F., Hardy, J., Kiss, I.S. et Gangolli, S.P. Short-term toxicity of dimethyl sulphide in the rat. Food Cosmet. Toxicol., 13 : 15 (1975).
15. Keenan, C.W., Wood, J.H. et Kleinfelter, D.C. General college chemistry. 5<sup>e</sup> édition. Harper and Row Publishers, New York, NY (1976).
16. Statistique Canada. Fabricants de produits chimiques industriels. N<sup>o</sup> de publication : 46-219, annuel. Ottawa (1974).
17. Statistique Canada. Fabricants de produits chimiques industriels. N<sup>o</sup> de publication : 46-219, annuel, Ottawa (1981).
18. Statistique Canada. Importations, commerce de marchandises, détail des produits. N<sup>o</sup> de publication : 65-207, Ottawa (1982).
19. Sienko, M.J. et Plane, R.A. Chemical principles and properties. 2<sup>e</sup> édition. McGraw-Hill Publishing Co., New York, NY (1974).
20. Mance, G., O'Donnell, A.R. et Campbell, J.A. Proposed environmental quality standards for List 11 substances in water, sulphide. ESSL, TR 257, Water Research Centre, Medmenham, U.K. (1988).
21. Oslund, H.G. et Alexander, J. Oxidation rate of sulphide in sea water, a preliminary study. J. Geophys. Res., 68(13) : 3995 (1963).
22. Thede, H., Ponat, A., Hiroki, K. et Schlieper, C. Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen deficiency and hydrogen sulphide. Mar. Biol., 2 : 325 (1969).
23. Millero, F.J., Hubinger, S., Fernandez, M. et Garnett, S. Oxidation of H<sub>2</sub>S in seawater as a function of temperature, pH, and ionic strength. Environ. Sci. Technol., 21 : 439 (1987).
24. Train, R.E. Quality criteria for water. Castle House Publishing, London. p. 213 (1979).
25. Hill, J.M. The acute toxicity of hydrogen sulphide — a literature review and application to storm sewage discharges. Report ER 675-M, Water Research Centre, Medmenham, U.K. (1984).
26. Dohnalek, D.A. et FitzPatrick, J.A. The chemistry of reduced sulphur species and their removal from groundwater supplies. J. Am. Water Works Assoc., 6 : 298 (1983).
27. Broderius, S.J. et Smith, L.L. Direct determination and calculation of aqueous hydrogen sulphide. Anal. Chem., 49 : 424 (1977).
28. Smith, L.L. et Oseid, D.M. Effect of hydrogen sulphide on development and survival of eight freshwater species. Dans : The early life history of fish. J.H.S. Blaxter (dir. de publ.). Springer-Verlag, Berlin (1974).
29. Torrans, E.L. et Clemens, H.P. Physiological and biochemical effects of acute exposure of fish to hydrogen sulphide. Comp. Biochem. Physiol., 71C : 183 (1982).
30. Base nationale de données sur la qualité des eaux (NAQUADAT). Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa (1985).
31. Organisation mondiale de la santé. Sulfure d'hydrogène. Environmental Health Criteria 19, Genève, Suisse (1981).
32. Hollis, J.P., Allam, A.I., Pitts, G., Joshi, M.M. et Ibrahim, I.K.A. Sulphide diseases of rice on iron-excess soils. Acta Phytopathol. Acad. Sci. Hung., 10 : 329 (1975).
33. Conseil national de recherches du Canada. Hydrogen sulfide in the atmospheric environment: scientific criteria for assessing its effects on environmental quality. CNRC, n<sup>o</sup> 18467, Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Ottawa (1981).
34. Smith, K.A., Bremner, J.M. et Tabatabai, M.A.M. Sorption of gaseous atmospheric pollutants by soils. Soil Sci., 116 : 313 (1973).
35. Bella, D.A., Ramm, A.E. et Paterson, P.E. Effects of tidal flats on estuarine water quality. J. Water Pollut. Control Fed., 44 : 541 (1972).
36. Hattula, T. et Granroth, B. Formation of dimethyl sulphide from S-methylmethionine in onion seedlings (*Allium cepa*). J. Sci. Food Agric., 25 : 1517 (1974).
37. Thomas, E.L., Reineccius, G.A., Dewaard, G.J. et Slikard, M.S. Determination of hydrogen sulphide in heated milks by gas liquid chromatographic head space analysis. J. Dairy Sci., 59 : 1865 (1975).
38. Evans, C.L. The toxicity of H<sub>2</sub>S and other sulphides. Q. J. Exp. Physiol., 52 : 231 (1967).
39. Hawke, D.J., Lloyd, A., Martinson, D.M. et Slater, P.G. Determination of sulphides in water and effluents using gas chromatography. Analyst, 110 : 269 (1985).
40. Ballinger, D. et Lloyd, A. A method for the determination of sulphides in water, sewage and effluents. Water Pollut. Control, 1 : 648 (1981).
41. Caron, F. et Kramer, J.R. Gas chromatographic determination of volatile sulphides at trace levels in natural freshwaters. Anal. Chem., 61 : 114 (1989).
42. American Water Works Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14<sup>e</sup> édition. American Public Health Association, Washington, DC (1976).
43. Goodwin, L.R., Francom, D., Urso, A. et Dieken, F.P. Determination of trace sulphides in turbid waters by gas dialysis/ion chromatography. Anal. Chem., 60(3) : 216 (1988).
44. Ministère de la Santé et du Bien-être social. Principes et techniques de traitement de l'eau : manuel de production d'eau potable. Direction de l'hygiène du milieu, Ottawa (1995).
45. Howe, K.J. et Lawler, D.F. Acid base reactions in gas transfer: A mathematical approach. J. Am. Water Works Assoc., 81(1) : 61 (1989).
46. Gosselin, K.E., Smith, R.P. et Hodge, H.C. Clinical toxicology of commercial products. 5<sup>e</sup> édition. Williams & Wilkins, Baltimore, MD (1984).
47. Curtis, C.G., Bartholomew, T.C., Rose, F.A. et Dodgson, K.S. Detoxification of sodium <sup>35</sup>S sulphide in the rat. Biochem. Pharmacol., 21 : 2312 (1972).
48. Bunce, A.H., Parker, F.P. et Lewis, G.T. Accidental death from absorption of heatless permanent wave solution. J. Am. Med. Assoc., 116 : 1515 (1941).
49. Voigt, G.E. et Muller, P. The histochemical effect of hydrogen sulphide poisoning. Acta Histochem., 1 : 223 (1955).
50. Tabacova, S. Maternal exposure to environmental chemicals. Neurotoxicology, 7(2) : 421 (1986).
51. Weisiger, R.A., Pinkus, L.M. et Jakoby, W.B. Potential role of thiolmethyltransferase in the detoxification of intestinal hydrogen sulphide and methanethiol. Gastroenterology, 76 : 1269 (1979).
52. Beauchamp, R.O., Bus, J.S., Popp, J.A., Borieko, C.J. et Andjelkovich, D.A. A critical review of the literature on hydrogen sulphide toxicity. CRC Crit. Rev. Toxicol., 13(1) : 25 (1984).

- 
53. Thienes, C.H. et Haley, T.J. Clinical toxicology. 5<sup>e</sup> édition. Lea & Febiger, Philadelphia, PA (1972).
54. Lang, E.P. et Draize, J.H. The percutaneous absorption of ammonium hydrogen sulphide and hydrogen sulphide. J. Pharmacol. Exp. Ther., 76 : 179 (1942).
55. Kunsman, J.E. et Riley, M.L. A comparison of hydrogen sulphide evolution from cooked lamb and other meats. J. Food Sci., 40 : 506 (1975).
56. Environnement Canada. Sulfure d'hydrogène. Guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Service de protection de l'environnement, Ottawa (1984).
57. Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS). National Institute of Occupational Health and Safety (1989).
58. Smith, R.P. et Gosselin, R.E. The influence of methemoglobinemia on the lethality of some toxic anions. II. Sulphide. Toxicol. Appl. Pharmacol., 6(5) : 584 (1964).
59. Meshenin, I.D. The treatment of acute hydrogen sulphide poisoning. Bull. Biol. Med. Exp. U.S.S.R., 6 : 439 (1938).
60. Weisburger, E.K., Ulland, B.M., Nam, J., Gart, J.J. et Weisburger, J.H. Carcinogenicity tests of certain environmental and industrial chemicals. J. Natl. Cancer Inst., 67(1) : 78 (1981).
61. Hughes, T.J., Sparacino, C. et Frazier, S. Validation of chemical and biological techniques for evaluation of vapours in ambient air/mutagenicity testing of (12) vapour-phase compounds. Report EPA-600/1-84-005, U.S. Environmental Protection Agency (1984).
62. Berglin, E.H. et Carlsson, J. Effect of hydrogen sulphide on the mutagenicity of hydrogen peroxide in *Salmonella typhimurium* strain TA102. Mutat. Res., 175(1) : 5 (1986).
63. Barilyak, I.R. et Vasil'eva I.A. Antimitotic and cytogenetic activity of small concentrations of carbon disulphide and hydrogen sulphide. Tsitol. Genet., 8(2) : 126 (1974).
64. Beruashvili, T.A. Hygienic evaluation of hydrogen sulphide-containing thermal waters used in hot water supply system. Gig. Sanit., 6 : 11 (1980).
65. Malkov, A.V., Matveev, I.M., Lobanov, N.N., Bakasova, M.A. et Biryukova, R.P. Effect of water in the presence of hydrogen sulphide and increased iron content on chicks. Tr. Izhevsk. Skh. Inst., 28 : 86 (1976).
66. Beauchamp, R.O., Bus, J.S., Popp, J.A., Boreiko, C.J. et Goldberg, L. A critical review of the literature on carbon disulphide toxicity. CRC Crit. Rev. Toxicol., 11(3) : 69 (1983).
67. Forrest, D. Preventing odour and corrosion problems in wastewater systems using pure oxygen. Water Sewage Effluent, 20 : 5 (1985).
68. McCabe, L.J. et Millette, J.R. Health effects and prevalence of asbestos fibers in drinking water. Dans : Proceedings of the American Water Works Association Annual Conference, June 24-29, San Francisco, CA (1979).
69. Cole, P. Update on common water treatment methods. Well Water J., November (1986).