

Tableau 104.80 • Propriétés physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Couleur/aspect	Point d'ébullition (°C)	Point de fusion (°C)	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité dans l'eau	Densité (eau = 1)	Densité de vapeur (air = 1)	Tension de vapeur (kPa)	Limites d'explosibilité	Point d'éclair (°C)	Température d'auto-inflammation (°C)
Bromotrifluorométhane 75-63-8	Gaz incolore	-58	-172 à -168	148,91	Peu soluble	1,538 (liquide)	5,0-5,3	1434			
1-Chloro-1,1-difluoroéthane 75-68-3	Gaz incolore	-10 à -9	-131	100,50	Peu soluble	1,107	3,49	310	6,2-17,9		632
Chlorodifluorobromométhane 353-59-3	Gaz incolore	-4 à -3	-161 à -159	165,36	Peu soluble	1,799 (liquide)	5,7-6,0	229			
Chlorodifluorométhane 75-45-6	Gaz incolore	-41	-160 à -146	86,47	Peu soluble	1,194 (liquide)	2,98-3,11	910-950			632
Chlorofluorométhane 593-70-4		-9	-133	68,48							
Chloropentafluoroéthane 76-15-3	Gaz incolore	-39 à -38	-106 à -99	154,47	Insoluble	1,568 (liquide) à -42 °C	5,3-5,5	~800			
Chlorotrifluoroéthane 1330-45-6		7*	-105*	118,49		1,39* à 0 °C					
Chlorotrifluoroéthylène 79-38-9	Gaz incolore	-28	-158 à -157	116,47	Réaction	1,30*	4,0		8,4-16*		
Chlorotrifluorométhane 75-72-9	Gaz incolore	-81	-181	104,46	Peu soluble	1,3	3,6	3120			
Dichlorodifluorométhane 75-71-8	Gaz incolore; gaz comprimé liquéfié	-30	-158	120,91	Peu soluble	1,311 (liquide)	4,1-4,2	567-580			
Dichloromonofluorométhane 75-43-4	Gaz lourd incolore	9	-135	102,92	Peu soluble	1,405 (liquide)	3,82	160-200			522*
Dichlorotetrafluoroéthane 1320-37-2	Gaz incolore	4	-94	170,92	Peu soluble	1,455 (liquide)					
1,1-Difluoroéthane 75-37-6	Gaz incolore	-25	-117	66,05	Peu soluble	0,896	2,3-2,4	535	5,1-18	<-50	
Difluorodibromométhane 75-61-6	Liquide lourd incolore; gaz incolore	23-25	-142	209,82	Peu soluble	2,288	7,2	83			
Enflurane 13838-16-9	Liquide	56-57		184,49	Peu soluble	1,517	6,4	23,3			
Fluorure de vinyle 75-02-5	Gaz incolore	-72	-161 à -160	46,0	Insoluble	0,7 à 0 °C	1,6		2,6-21,7		385-460*
Fluorure de vinylidène 75-38-7	Gaz incolore	-86 à -83	-144	64,03	Peu soluble		2,21	~3560	5,5-21,3		640
Halothane 151-67-7	Liquide incolore, volatil	50	-119 à -118	197,38	Peu soluble	1,871	6,9	32,4			
Hexafluoracétone 684-16-2	Gaz incolore	-28 à -27	-129 à -125	166,02	Réaction	1,33 (liquide)	5,7				
Hexafluoropropylène 116-15-4	Gaz	-30 à -29	-156	150,02		1,583 à -40 °C		687			
Octafluoroisobutylène 382-21-8	Gaz	1*		200,03		1,530* à 0 °C	6,9				
Teflon 9002-84-0	Feuilles fines, blanc grisâtre, transparentes; solide mou, cireux, blanc laiteux; poudre blanche	>400 (décomposition)	180-260	(100,02) ⁿ	Insoluble	2,0-2,2	8 Pa à 360 °C				
1,1,1,2-Tétrachloro-2,2-difluoroéthane 76-11-9	Liquide incolore ou solide	91-92	40-41	203,83	Peu soluble	1,649	7,0	5,32			

Tableau 104.80 • Propriétés physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Couleur/aspect	Point d'ébullition (°C)	Point de fusion (°C)	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité dans l'eau	Densité (eau = 1)	Densité de vapeur (air = 1)	Tension de vapeur (kPa)	Limites d'explosibilité	Point d'éclair (°C)	Température d'auto-inflammation (°C)
1,1,2,2-Tétrachloro-1,2-difluoroéthane 76-12-0	Liquide incolore ou solide	93-94	25-26	203,83	Peu soluble	1,645	7,0-7,3	5,32			
Tétrafluoroéthylène 116-14-3	Gaz incolore	-76	-142	100,02	Insoluble	1,519 à -76 °C	3,8-3,9		10,0-50		200
Tetrafluorométhane 75-73-0	Gaz incolore	-128	-187 à -184	88,00	Peu soluble	1,189 (liquide)	3,04	106 à -127 °C			>1100
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroéthane 76-13-1	Gaz incolore; liquide volatil	48	-36 à -35	187,38	Peu soluble	1,564 (liquide)	6,47	36,2-37,8		350*	680
Trichlorofluorométhane 75-69-4	Liquide incolore	24	-111	137,37	Peu soluble	1,476 (liquide)	5,04	88-92			
Trifluorométhane 75-46-7	Gaz incolore	-84 à -82	-160 à -155	70,01	Peu soluble	1,52 (liquide)	2,42	4460*			
α, α, α -Trifluorotoluène 98-08-8	Liquide blanc	102-103	-29	146,11	Réaction	1,188-1,189	5,04	5,33		12 cf	620

PROPRIÉTÉS DES GLYCÉROLS ET DES GLYCOLS

● GLYCÉROLS ET GLYCOLS

Applications

Les glycérols et les glycols ont de nombreuses applications dans l'industrie, car ce sont des solvants organiques complètement hydrosolubles. Nombre de ces composés sont utilisés comme solvants dans les colorants, peintures, résines, encres, insecticides et produits pharmaceutiques. De plus, leurs deux groupements hydroxyle chimiquement réactifs font des glycols d'importants intermédiaires chimiques. Parmi les nombreuses applications des glycols et des polyglycols, on peut notamment citer leur usage comme additifs abaissant le point de congélation, ou encore comme additifs de lubrification et de solubilisation. Les glycols servent aussi d'additifs alimentaires indirects et directs et entrent dans la composition des explosifs et des résines alkydes, des brouillards artificiels et des cosmétiques.

Le *propylène-glycol* est largement utilisé dans les produits pharmaceutiques et cosmétiques, comme humectant dans certains produits alimentaires et comme lubrifiant. Il est également utilisé comme fluide caloporteur dans les cas où une fuite pourrait le mettre en contact avec des denrées alimentaires, par exemple pour les réfrigérants utilisés dans les installations de laiterie. Il est également utilisé comme solvant dans les colorants et aromatisants alimentaires, comme antigél dans les brasseries et autres installations industrielles, et comme additif dans les peintures au latex pour conférer une stabilité vis-à-vis du gel-dégel. Le propylène-glycol, l'*éthylène-glycol* et le *1,3-butanediol* entrent dans la composition des liquides de dégivrage pour avions. Le *tripropylène-glycol* et le *diméthylène-glycol* sont utilisés comme solvants pour colorants. Les butanediols (butylène-glycols) interviennent dans la production des résines polyesters.

L'*éthylène-glycol* est utilisé comme antigél dans les systèmes de réfrigération et de chauffage, comme solvant dans les peintures et les matières plastiques, et entre dans la composition des liquides de dégivrage employés sur les pistes d'aéroport. Il intervient dans les liquides pour freins hydrauliques, la dynamite à bas point de congélation, les teintures pour bois, les adhésifs, les colorants du cuir et le tabac. Il sert également d'agent de déshydratation pour le gaz naturel, de solvant pour les encres et les pesticides, et d'ingrédient dans les condensateurs électrolytiques. Le *diéthylène-glycol* sert d'humidifiant pour le tabac, la caséine, les éponges synthétiques et les produits de papeterie. Il trouve aussi une application dans les compositions à base de liège, les adhésifs utilisés en reliure, les liquides de frein, les laques, les produits cosmétiques et les solutions antigél pour les sprinklers. Le diéthylène-glycol est utilisé pour réaliser l'étanchéité à l'eau des réservoirs à gaz, comme lubrifiant et agent de finissage dans les textiles, comme solvant pour les colorants de cuve et comme agent de déshydratation pour le gaz naturel. Le *triéthylène-glycol* sert de solvant et de lubrifiant dans la teinture et l'impression des textiles. Il trouve également une application dans la désinfection de l'air et dans diverses matières plastiques pour en augmenter la souplesse. Le triéthylène-glycol est employé comme humidifiant dans l'industrie du tabac et comme intermédiaire dans la fabrication des plastifiants, résines, émulsifiants, lubrifiants et explosifs.

On pourra se faire une idée de la polyvalence du *glycérol* en observant que quelque 1 700 applications de ce composé et de ses dérivés sont revendiquées. Le glycérol est utilisé dans les denrées alimentaires, les produits pharmaceutiques, les produits de toilette et les produits cosmétiques. Il sert de solvant et d'humidifiant

dans des produits tels que le tabac, les glaces de confiserie, les crèmes de soin pour la peau et les pâtes dentifrices, qui sans lui se détérioreraient au stockage par dessèchement. Le glycérol est également utilisé pour lubrifier le chewing-gum et comme adjuvant de traitement, pour fluidifier la noix de coco humide broyée et aussi pour homogénéiser et humidifier certains médicaments. Il sert à éviter le givrage des pare-brise et il est utilisé comme antigél pour les automobiles, les gazomètres et les vérins hydrauliques. Cependant, l'application la plus importante du glycérol concerne la production des résines alkydes pour revêtements de surface. On opère par condensation du glycérol avec un acide ou un anhydride dicarboxylique (généralement l'anhydride phtalique) et des acides gras. Le glycérol trouve l'une de ses principales utilisations dans la production des explosifs, notamment la nitroglycérine et la dynamite.

Glycérol

Le glycérol est un trialcool qui subit les réactions caractéristiques des alcools. Le degré de réactivité des groupements hydroxyle est variable, ceux qui se trouvent en position 1 et 3 étant plus réactifs que l'hydroxyle en position 2. En exploitant ces différences de réactivité et en faisant varier les proportions des réactifs, il est possible de produire des dérivés mono-, di- ou trisubstitués. Le glycérol est préparé soit par hydrolyse des graisses, soit par synthèse à partir du propylène. Les principaux constituants de pratiquement toutes les huiles et graisses animales et végétales sont des triglycérides d'acides gras.

L'hydrolyse de ces glycérides donne des acides gras libres et du glycérol. On utilise deux techniques d'hydrolyse — l'hydrolyse alcaline (saponification) et l'hydrolyse neutre (dissociation). Dans la saponification, on fait bouillir la graisse avec de l'hydroxyde et du chlorure de sodium, le résultat étant la formation de glycérol et de sels sodiques d'acide gras (savons).

Dans la dissociation, les graisses sont hydrolysées par un procédé en discontinu ou en semi-continu à l'intérieur d'un autoclave à haute pression, ou par un procédé en continu à contre-courant dans une colonne à haute pression. Il existe deux procédés principaux de synthèse du glycérol à partir du propylène. Dans l'un, le propylène est traité par le chlore pour produire le chlorure d'allyle; ce dernier réagit ensuite avec l'hypochlorite de sodium en solution pour donner la dichlorhydrine de glycérol, dont on tire le glycérol par hydrolyse alcaline. Dans l'autre procédé, le propylène est oxydé en acroléine, qui est réduite en alcool allylique. Ce composé est alors soit hydroxylé avec du peroxyde d'hydrogène en solution aqueuse pour obtenir le glycérol directement, soit traité à l'hypochlorite de sodium pour produire la monochlorhydrine de glycérol qui, après hydrolyse alcaline, permet d'obtenir le glycérol.

Risques

Le glycérol présente une très faible toxicité (DL₅₀ orale pour la souris: 31,5 g/kg) et il est généralement considéré comme inoffensif dans les conditions normales d'utilisation. Il ne produit qu'une très faible diurèse chez le sujet sain après une seule dose unique inférieure ou égale à 1,5 g/kg par voie orale. Les effets indésirables consécutifs à l'administration de glycérol par voie orale consistent en céphalées légères, vertiges, nausées, vomissements, soif et diarrhée.

Sous forme de brouillard, le glycérol est classé par la Conférence américaine des hygiénistes gouvernementaux du travail (American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)) comme «nuisance particulière» et, en tant que telle, un

seuil de 10 mg/m³ lui est assigné. De plus, la réactivité du glycérol le rend dangereux et, en particulier, susceptible de provoquer une explosion au contact d'oxydants énergiques tels que le permanganate ou le chlorate de potassium, entre autres. Par conséquent, il ne doit jamais être stocké à proximité de ces substances.

Glycols et dérivés

Les glycols d'importance industrielle sont des composés aliphatiques porteurs de deux groupements hydroxyle. Ce sont des liquides visqueux incolores, le plus souvent inodores. Parmi les glycols et leurs dérivés, l'éthylène-glycol et le diéthylène-glycol sont les plus importants. La toxicité de certains composés et groupes importants et le risque qu'ils représentent sont évoqués ci-après. Aucun des glycols ou de leurs dérivés qui ont été étudiés ne s'est révélé mutagène, cancérigène ou tératogène.

Les glycols et leurs dérivés sont des liquides combustibles. Étant donné que leur point d'éclair est supérieur à la température ambiante normale, leurs vapeurs ne sont susceptibles de s'accumuler en concentrations inflammables ou explosives que sous l'effet de la chaleur (par exemple, dans des fours). C'est pourquoi ils ne présentent qu'un risque modéré d'incendie.

Synthèse. L'éthylène-glycol est produit industriellement par oxydation à l'air de l'éthylène, puis par hydratation de l'oxyde d'éthylène obtenu. Le diéthylène-glycol est obtenu comme sous-produit dans la préparation de l'éthylène-glycol. De même, le propylène-glycol et le 1,2-butanediol sont obtenus respectivement par hydratation de l'oxyde de propylène et de l'oxyde de butylène. Le diméthylène-glycol est produit par hydratation du 2,3-époxybutane; le 1,3-butanediol est obtenu par hydrogénation catalytique de l'aldol en présence de nickel de Raney; le 1,4-butanediol est produit par réaction de l'acétylène avec le formaldéhyde, puis hydrogénation du 2-butyne-1,4-diol résultant.

Risques dus aux glycols usuels

La toxicité par voie orale de l'*éthylène-glycol* est assez faible chez l'animal. Néanmoins, l'expérience clinique montre que la dose létale pour un adulte humain est de 100 cm³ ou environ 1,6 g/kg, ce qui indique un plus grand pouvoir toxique vis-à-vis de l'être humain que vis-à-vis des animaux de laboratoire. Cette toxicité est due aux métabolites, qui varient selon les espèces. Les effets caractéristiques d'une ingestion excessive d'éthylène-glycol sont la narcose, la dépression du système respiratoire et une atteinte rénale progressive.

Des singes ont reçu pendant 3 ans une alimentation contenant de 0,2 à 0,5% d'éthylène-glycol sans effet nocif apparent; on n'a pas décelé de tumeurs vésicales, mais on a constaté la présence de cristaux et de calculs d'oxalate. L'irritation primaire des yeux et de la peau provoquée par l'éthylène-glycol est généralement modérée, mais le composé peut être absorbé par voie percutanée en quantité toxique. L'exposition de rats et de souris 8 heures par jour durant 16 semaines à des concentrations allant de 0,35 à 3,49 mg/l n'a pas provoqué de lésions organiques. A concentration plus élevée, on a observé la présence de brouillards et de gouttelettes. Par conséquent, l'exposition répétée de l'être humain aux vapeurs d'éthylène-glycol à la température ambiante ne devrait pas représenter un risque important. L'éthylène-glycol ne semble pas non plus poser de problème majeur en cas de contact cutané ou d'absorption par voie orale dans les conditions industrielles normales. Toutefois, un risque respiratoire n'est pas exclu si l'éthylène-glycol est chauffé et fortement agité (formation d'un brouillard), ou s'il y a un contact ou une ingestion appréciables pendant une période prolongée. Le principal risque pour la santé est lié à l'ingestion de grandes quantités de ce composé.

Le *diéthylène-glycol* présente une toxicité semblable à celle de l'éthylène-glycol, mais sans production d'acide oxalique. Il est plus directement néphrotoxique que l'éthylène-glycol. Lors de l'ingestion d'une dose excessive, les effets caractéristiques prévisibles sont la diurèse, la soif, l'inappétence, la narcose, l'hypothermie, l'insuffisance rénale et la mort, en fonction de la gravité de l'exposition. Des souris et des rats exposés au diéthylène-glycol à des concentrations de 5 mg/m³ pendant 3 à 7 mois ont présenté des altérations du système nerveux central (SNC) et du système endocrinien ainsi que des organes internes, et d'autres anomalies anatomo-pathologiques. Lorsqu'on donne à des animaux une alimentation contenant des doses élevées de diéthylène-glycol, des calculs et des tumeurs se forment dans la vessie, ces dernières étant probablement consécutives à la lithiase; cette observation est toutefois sans portée pratique. Ces phénomènes pourraient s'expliquer par la présence d'éthylène-glycol dans l'échantillon. Comme pour l'éthylène-glycol, l'inhalation des vapeurs de diéthylène-glycol à la température ambiante, le contact cutané ou l'ingestion de ce produit dans les conditions industrielles normales ne semble pas présenter de risque.

Le *propylène-glycol* présente un faible risque de toxicité. Il est hygroscopique et, selon une étude réalisée sur 866 sujets humains, il s'est comporté comme un irritant primaire chez certaines personnes, probablement par suite de déshydratation. Il peut également provoquer une allergie cutanée chez plus de 2% des personnes atteintes d'un eczéma. L'exposition prolongée d'animaux à une atmosphère saturée en propylène-glycol ne produit pas d'effet mesurable. En raison de sa faible toxicité, le propylène-glycol est largement utilisé dans les formes galéniques, les produits cosmétiques et, avec certaines restrictions, dans les denrées alimentaires.

Le *dipropylène-glycol* est peu toxique. Il n'est pas irritant pour la peau ou les yeux en raison de sa faible tension de vapeur, et son inhalation ne présente pas de danger sauf s'il est chauffé en grande quantité dans un espace clos.

On dénombre quatre isomères des *butanediols* qui sont tous solubles dans l'eau, l'alcool éthylique et l'éther. Leur volatilité est faible et, par conséquent, leur inhalation ne pose pas de problème dans les conditions industrielles normales. À l'exception de l'isomère 1,4, les butanediols ne présentent pas de risque industriel important.

Chez le rat, une exposition massive par voie orale au *1,2-butanediol* a provoqué une narcose profonde et une irritation des voies digestives. Une nécrose rénale congestive peut également se produire. La mortalité retardée résulte vraisemblablement d'une insuffisance rénale progressive, la mortalité immédiate étant probablement due à la narcose. Un contact oculaire avec le *1,2-butanediol* peut entraîner des lésions cornéennes, mais un contact avec la peau, même prolongé, est généralement inoffensif et ne produit pas d'irritation primaire ni d'effets toxiques par résorption percutanée. L'inhalation des vapeurs ne semble pas causer d'effets indésirables.

Le *1,3-butanediol* est essentiellement dépourvu de toxicité, si ce n'est en cas d'ingestion massive où une narcose peut se produire.

La toxicité du *diméthylène-glycol* est très peu connue, mais les quelques études qui ont été publiées montrent qu'elle se situe entre celle des 1,2- et 1,3-butanediols.

En revanche, le *1,4-butanediol* est environ huit fois plus toxique que l'isomère 1,2, comme le montrent les tests de toxicité aiguë. L'atteinte aiguë par ingestion provoque une narcose grave et peut entraîner des lésions rénales. La mort survient probablement par collapsus des systèmes nerveux sympathique et parasympathique. Ce n'est pas un irritant primaire et il ne traverse pas facilement la barrière cutanée.

TABLEAUX DES GLYCÉROLS ET DES GLYCOLS

Tableau 104.81 • Identification chimique

Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
1,2-Butanediol	1,2-Butylène-glycol	584-03-2	
1,3-Butanediol	Butane-1,3-diol; β-butylène-glycol; 1,3-butylène-glycol; 1,3-dihydroxybutane; méthyltriméthylène-glycol	107-88-0	
1,4-Butanediol	Butanediol; butane-1,4-diol; 1,4-butylène-glycol; 1,4-dihydroxybutane; tétraméthylène-1,4-diol; 1,4-tétraméthylène-glycol	110-63-4	
3-Chloro-1,2-propanediol	Chlorhydrine; chlorodésoxyglycérol; 1-chloro-2,3-dihydroxypropane; 3-chloro-1,2-dihydroxypropane UN2689	96-24-2	
Diéthylène-glycol	Bis(2-hydroxyéthyl)éther; dihydroxydiéthyléther; 2,2'-dihydroxyéthyléther; éthylène-diglycol; éther de glycol; éther éthylrique de glycol; 3-oxapentane-1,5-diol; 3-oxa-1,5-pentanediol; 2,2'-oxybiséthanol	111-46-6	
Diméthylène-glycol	2,3-Butanediol; 2,3-butylène-glycol; 2,3-dihydroxybutane	513-85-9	
Dipropylène-glycol	2,2'-Dihydroxydipropyléther; 2,2'-dihydroxyisopropyléther; 1,1'-oxydi-2-propanol	110-98-5	
2-Ethyl-1,3-hexanediol	Ethylhexanediol; 2-éthylhexane-1,3-diol; 2-éthylhexanediol-1,3; éthylhexylène-glycol; 2-éthyl-3-propyl-1,3-propanediol; 3-hydroxyméthyl-n-heptane-4-ol; octylène-glycol	94-96-2	
Ethylène-glycol	1,2-Dihydroxyéthane; 1,2-éthanediol; éthane-1,2-diol; glycol; alcool glycolique; monoéthylène-glycol	107-21-1	
Glycérol	Glycérine; 1,2,3-propanetriol; glycérine synthétique; trihydroxypropane; 1,2,3-trihydroxypropane	56-81-5	
1,6-Hexanediol	Hexaméthylène-glycol; hexane-1,6-diol	629-11-8	
2,5-Hexanediol	Hexane-2,5-diol	2935-44-6	
Hexylène-glycol	2,4-Dihydroxy-2-méthylpentane; 2-méthyl pentane-2,4-diol; 2-méthyl-2,4-pentanediol	107-41-5	
Néopentyl-glycol	Diméthylolpropane; 2,2-diméthyl-1,3-propanediol; diméthyltriméthylène-glycol	126-30-7	

Tableau 104.81 • Identification chimique

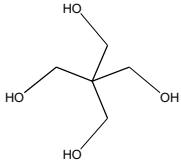
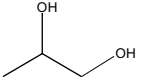
Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
Pentaérythritol	2,2-Bis(hydroxyméthyl)-1,3-propanediol; pentaérythrite; tétrahydroxyméthylméthane; tétraméthylolméthane	115-77-5	
Propylène-glycol	1,2-Dihydroxypropane; méthyléthylène-glycol; méthyl-glycol; monopropylène-glycol; 1,2-propanediol	57-55-6	

Tableau 104.82 • Risques pour la santé

Nom chimique et numéro CAS	Fiches internationales de sécurité chimique (ICSC)				NIOSH	
	Exposition de courte durée	Exposition de longue durée	Voies d'exposition	Symptômes	Organes cibles et voies de pénétration	Symptômes
1,3-Butanediol 107-88-0	Yeux; peau; voies respiratoires		Inhalation Peau Yeux	Toux Rougeurs Sensation de picotement		
1,4-Butanediol 110-63-4	Yeux; voies respiratoires; système nerveux central; reins		Inhalation Yeux Ingestion	Toux, étourdissements, céphalées, perte de conscience Rougeur, irritation Perte de conscience		
Diéthylène-glycol 111-46-6	Yeux; peau; voies respiratoires; système nerveux central; foie; reins	Foie; reins	Peau Yeux Ingestion	Rougeurs Rougeur Confusion, diarrhée, étourdissements, somnolence, nausées, perte de conscience, vomissements		
Dipropylène-glycol 110-98-5	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau	Inhalation Peau Yeux	Toux Rougeurs Rougeur		
Ethylène-glycol 107-21-1	Yeux; peau; voies respiratoires; reins; système nerveux central	Système nerveux central; yeux	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux, étourdissements, céphalées Sécheresse, rougeurs Rougeur Douleurs abdominales, atonie, nausées, perte de conscience, vomissements	Yeux; peau; voies respiratoires; système nerveux central Inhalation; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau, du nez et de la gorge; nausées; vomissements; douleurs abdominales; faiblesse; étourdissements; stupeur; convulsions; dépression du système nerveux central; sensibilisation cutanée
1,6-Hexanediol 629-11-8	Yeux; voies respiratoires		Inhalation Yeux	Toux Irritation, rougeur		
2,5-Hexanediol 2935-44-6	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau; système nerveux central				
Hexylène-glycol 107-41-5	Yeux; peau	Peau; reins	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux Sécheresse, rougeurs Rougeur Crampes abdominales, diarrhée, nausées, vomissements	Yeux; peau; voies respiratoires Inhalation; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires; céphalées; étourdissements; nausées; incoordination; dépression du système nerveux central; dermatite; sensibilisation cutanée
Néopentyl-glycol 126-30-7	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Poumons; reins				
Propylène-glycol 57-55-6	Yeux		Yeux	Douleurs		

Tableau 104.83 • Risques physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Risques physiques	Risques chimiques	Classification ONU/risques subsidiaires
1,4-Butanediol 110-63-4		La combustion dégage des vapeurs toxiques (monoxyde de carbone). Réagit avec les oxydants énergiques	
Diéthylène-glycol 111-46-6		Réagit violemment avec les oxydants énergiques. Attaque de nombreux plastiques	
Ethylène-glycol 107-21-1		La combustion dégage des gaz toxiques. Réagit avec les oxydants énergiques et les bases fortes	
1,6-Hexanediol 629-11-8	Possibilité d'explosion de poussières si sous forme de poudre ou de granules mélangés à l'air	La combustion dégage des gaz toxiques	
Hexylène-glycol 107-41-5		Se polymérise. Réagit avec les oxydants énergiques	
Propylène-glycol 57-55-6	Vapeur plus lourde que l'air	Réagit sur les oxydants énergiques (comme le perchlorate de potassium) avec risque d'incendie et d'explosion	

Tableau 104.84 • Propriétés physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Couleur/aspect	Point d'ébullition (°C)	Point de fusion (°C)	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité dans l'eau	Densité (eau = 1)	Densité de vapeur (air = 1)	Tension de vapeur (kPa)	Limites d'explosibilité (%)	Point d'éclair (°C)	Température d'auto-inflammation (°C)
1,3-Butanediol 107-88-0	Liquide visqueux; incolore à l'état pur	203-209	<-50*	90,12	Soluble	1,001-1,008	3,1-3,2	8 Pa		121 co	394-395
1,4-Butanediol 110-63-4	Liquide visqueux et incolore	228-235	18-20	90,12	Miscible	1,017	3,1	0,13 à 38 °C	1,95-18,3	121 co	350
Diéthylène-glycol 111-46-6	Liquide incolore et sirupeux	244-246	-11 à -7	106,12	Soluble	1,118-1,120	3,66	0,26 Pa	1,6-12,3*	124 cf	224-229
Diméthylène-glycol 513-85-9	Liquide presque incolore ou solide	183-184*	25*	90,12		0,995*	3,1*			85*	402*
Dipropylène-glycol 110-98-5	Liquide incolore légèrement visqueux	232-233	>-40	134,17	Soluble	1,022-1,025	4,63	<1,3 Pa	2,2-12,6	121 co	310
2-Ethyl-1,3-hexanediol 94-96-2	Liquide légèrement huileux; incolore	244	-40	146,23	Peu soluble	0,932-0,942	5,03	<1,3 Pa		127 co	360
Ethylène-glycol 107-21-1	Liquide légèrement visqueux; limpide, incolore et sirupeux	196-198	-13 à -12	62,07	Soluble	1,109-1,113	2,14	7 Pa*	3,2-15,3	111 cf	398-410
Glycérol 56-81-5	Liquide limpide, incolore et sirupeux	290*	18-20	92,09	Soluble	1,251-1,261	3,17	0,2 Pa*		160 cf	370
1,6-Hexanediol 629-11-8	Cristaux	208	43	118,18	Soluble	0,95-0,96	4,07	~0	6,6-16*	135*	320
2,5-Hexanediol 2935-44-6	Liquide incolore	216-221	43*	118,18	Soluble	0,917-0,961	4,07			102 cf	490*
Hexylène-glycol 107-41-5	Liquide incolore	196-198	-50 à -37	118,18	Soluble	0,922	4,0-4,1	6,5-6,7 Pa	1-9	93 cf	306-425*
Néopentyl-glycol 126-30-7	Paillettes; aiguilles obtenues à partir de solutions benzéniques	208-210	127-130	104,15	Soluble	1,1*	3,6*	30 Pa*	1,1-11,4*	107* cf	388-399
Pentaérythritol 115-77-5	Cristaux ditétragonaux obtenus à partir de solutions dans l'acide chlorhydrique dilué; poudre cristalline blanche		255-269	136,15	Soluble	1,396-1,399	4,70	<0,13			450
Propylène-glycol 57-55-6	Liquide visqueux et incolore	187-189	-60 à -59	76,10	Miscible	1,036	2,62	10,6 Pa	2,6-12,5	99 cf	371-398*

● HALOGÈNES ET DÉRIVÉS COMPOSÉS

Le fluor, le chlore, le brome, l'iode et l'astate, élément radioactif plus récemment découvert, composent la famille des éléments connus sous le nom d'halogènes. Les propriétés physiques et chimiques de ces éléments ont fait l'objet d'études approfondies, sauf pour l'astate. Ils font partie du groupe VII de la classification périodique des éléments et offrent une gradation presque parfaite de leurs propriétés physiques.

La parenté des halogènes est encore illustrée par la similitude de leurs propriétés chimiques, similitude qui tient à la disposition des sept électrons qui occupent la couche de valence de chaque élément. Tous s'unissent à l'hydrogène, mais d'autant moins facilement que la masse atomique augmente. La chaleur de formation des divers sels diminue également à mesure que la masse atomique de l'halogène augmente. Les propriétés des haloacides et de leurs sels présentent aussi une parenté évidente; la similitude est frappante chez les composés organohalogénés, mais au fur et à mesure que les composés deviennent plus complexes, les caractéristiques et influences d'autres constituants de la molécule peuvent masquer ou modifier la gradation des propriétés.

Applications

Les halogènes sont utilisés dans le secteur de l'eau et de l'hygiène, les industries chimique, pharmaceutique, du papier, du textile, de l'armement, ainsi que dans celles des matières plastiques et du pétrole. Le brome, le chlore, le fluor et l'iode sont employés comme intermédiaires de synthèse, agents décolorants et désinfectants. Le brome et le chlore sont utilisés tous deux dans l'industrie textile pour la décoloration et le traitement antiretrait de la laine. On se sert également du brome pour extraire l'or de ses minerais, ainsi que dans le forage des puits de pétrole et de gaz naturel. Il joue le rôle d'ignifugeant dans l'industrie des matières plastiques et d'intermédiaire de synthèse dans la fabrication des fluides hydrauliques, des frigorigènes et des déshydratants et il entre dans la composition des produits capillaires pour permanentes. Le brome est également utilisé pour la fabrication de gaz de combat et de liquides d'extinction.

Le chlore est utilisé pour désinfecter les ordures et pour purifier et traiter les eaux de boisson et celles de piscine. C'est un produit de blanchiment mis en œuvre dans les blanchisseries et dans les industries de la pâte cellulosique et du papier. Le chlore est employé dans la fabrication de certaines piles et pour la préparation des hydrocarbures chlorés et il sert également au traitement de la viande, des légumes, du poisson et des fruits. On l'emploie aussi comme ignifugeant. L'oxyde de chlore est utilisé dans le secteur de l'eau et de l'hygiène, dans les piscines pour la purification de l'eau ainsi que pour la neutralisation des odeurs. On l'emploie comme agent de blanchiment dans les industries alimentaires, les industries du cuir, du textile, de la pâte cellulosique et du papier, mais aussi comme oxydant, bactéricide et antiseptique. Il sert au nettoyage et au tannage du cuir ainsi qu'au blanchiment de la cellulose, des huiles et de la cire d'abeille. Le chlorure d'azote a été utilisé antérieurement comme agent décolorant et «bonifiant» de la farine. L'iode est également utilisé comme désinfectant dans le secteur de l'eau et de l'hygiène et joue le rôle d'intermédiaire dans la préparation des iodures minéraux, de l'iodure de potassium et des composés organo-iodés.

Le fluor, le difluorure d'oxygène, le pentafluorure de brome et le trifluorure de chlore servent de combustibles dans les diergols pour fusées. Le fluor est également utilisé pour préparer l'hexafluorure d'ura-

nium à partir du tétrafluorure, et le trifluorure de chlore trouve des applications dans le combustible nucléaire et dans le découpage des tubes pour puits de pétrole.

Le fluorure de calcium, que l'on trouve dans le spath fluor ou fluorine, est la principale source de fluor et de composés fluorés. Il est utilisé en sidérurgie comme fondant pour augmenter la fluidité des scories. Le fluorure de calcium trouve des applications en optique, en électronique et dans l'industrie du verre.

Le bromure d'hydrogène et ses solutions aqueuses sont utilisés pour la préparation des bromures organiques et minéraux et comme réducteurs ou catalyseurs. On les emploie également pour l'alkylation des composés aromatiques. Le bromure de potassium intervient dans la fabrication des papiers et plaques photographiques. De nombreuses industries de synthèse consomment de grandes quantités de phosgène, notamment pour la fabrication des colorants. Le phosgène trouve également des applications dans les gaz de combat et les produits pharmaceutiques. On l'utilise également dans les insecticides et les fumigants.

Risques

La similitude que manifestent ces éléments dans leurs propriétés chimiques se retrouve dans les effets physiologiques qu'ils exercent sur l'organisme. Le fluor et le chlore gazeux, les vapeurs de brome et d'iode sont des irritants de l'appareil respiratoire; l'inhalation de concentrations relativement faibles de ces gaz et vapeurs procure une sensation désagréable, âcre, suivie de suffocation, de toux et d'oppression thoracique. L'atteinte du tissu pulmonaire qui s'ensuit peut charger le poumon de liquide, et conduire à un œdème pulmonaire parfois mortel.

Fluor et dérivés

Sources

Le fluor et ses composés sont surtout obtenus, directement ou indirectement, à partir du fluorure de calcium (spath fluor) et des gisements de phosphate (fluorapatite), voire de produits chimiques qui en dérivent. Le fluorure contenu dans les phosphates naturels en limite l'utilité et doit, par conséquent, être éliminé presque complètement au cours de la préparation du phosphore élémentaire ou du phosphate de calcium alimentaire ou encore, partiellement, lors de la transformation de la fluorapatite en engrais. On récupère parfois les fluorures sous forme d'acide en solution aqueuse ou de fluorures de calcium ou de sodium provenant sans doute d'un mélange de fluorure d'hydrogène et de tétrafluorure de silicium, ou bien on les rejette dans l'atmosphère.

Risques d'incendie et d'explosion

Nombre de composés du fluor présentent un risque d'incendie et d'explosion. Le fluor réagit avec presque toutes les autres substances, y compris le métal des récipients et des canalisations qui le contiennent si la couche passivante vient à se rompre. La réaction de l'acide fluorhydrique avec les métaux produit de l'hydrogène gazeux. Une propriété absolue doit régner dans les systèmes de transport afin de prévenir les réactions locales et les risques d'incendie qui leur sont liés. On utilise des soupapes spéciales, exemptes de lubrifiant, pour éviter les réactions avec les produits de lubrification. Le difluorure d'oxygène est explosible s'il se trouve en mélange gazeux avec l'eau, l'hydrogène sulfuré ou les hydrocarbures. Sous l'effet de la chaleur, de nombreux composés du fluor libèrent des gaz toxiques et des vapeurs corrosives de fluorures.

Risques pour la santé

Le contact avec la peau du *fluorure d'hydrogène* anhydre provoque des brûlures immédiates graves et douloureuses. Les solutions aqueuses concentrées de fluorure d'hydrogène provoquent aussi une sensation immédiate de douleur, mais les solutions diluées peuvent ne pas être immédiatement douloureuses ou visibles. Un contact externe avec le liquide ou la vapeur cause une grave irritation des yeux et des paupières, qui peut entraîner une altération prolongée ou permanente de la vision ou une destruction totale du globe oculaire. On a rapporté des cas mortels dus à une exposition cutanée sur un territoire ne dépassant pas 2,5% de la superficie corporelle totale.

La rapidité de l'intervention est essentielle et doit comprendre un lavage abondant avec de l'eau pendant le transport à l'hôpital, puis l'immersion dans une solution glacée de sulfate de magnésium à 25%, si possible. Pour traiter les brûlures de légères à modérées, il faut appliquer un gel de gluconate de calcium; les brûlures plus graves nécessitent une injection dans et autour de la zone affectée d'une solution à 10% de gluconate de calcium ou de sulfate de magnésium. Il est parfois nécessaire de soulager la douleur par une anesthésie locale.

L'inhalation de brouillards de fluorure d'hydrogène concentré ou de fluorure d'hydrogène anhydre peut causer une grave irritation respiratoire et, une exposition même brève, ne dépassant pas 5 minutes, est généralement mortelle dans les 2 à 10 heures qui suivent, en raison d'un œdème pulmonaire hémorragique. Il peut également y avoir inhalation lors d'une exposition cutanée.

Le fluor et autres gaz fluorés. Le fluor élémentaire, le trifluorure de chlore et le difluorure d'oxygène sont de puissants oxydants et peuvent être extrêmement destructeurs. A concentration très élevée, ces gaz peuvent, de même, être extrêmement corrosifs pour les tissus. En revanche, le trifluorure d'azote est nettement moins irritant. Le fluor gazeux forme, au contact de l'eau, du fluorure d'hydrogène, qui produit de graves brûlures et des ulcérations cutanées.

Une exposition aiguë à 10 ppm de fluor provoque une légère irritation cutanée, oculaire et nasale; au-dessus de 25 ppm, l'exposition est insupportable, mais des expositions répétées peuvent entraîner une accoutumance. Une exposition intense peut causer un œdème pulmonaire, des hémorragies et des lésions rénales et avoir une issue fatale. Le difluorure d'oxygène produit des effets similaires.

Chez le rat, une exposition aiguë par voie respiratoire à 800 ppm de trifluorure de chlore pendant 15 minutes et à 400 ppm pendant 25 minutes s'est révélée mortelle. La toxicité aiguë de ce composé est comparable à celle du fluorure d'hydrogène. Dans une étude au long cours sur deux espèces, une dose de 1,17 ppm a provoqué une irritation respiratoire et oculaire et, chez certains animaux, la mort.

Des études de longue durée comportant l'inhalation répétée de fluor par des animaux ont permis d'observer des effets toxiques sur les poumons, le foie et les testicules à la dose de 16 ppm, et une irritation des muqueuses et des poumons à 2 ppm. L'exposition au fluor était supportable à la dose de 1 ppm. Dans une étude ultérieure sur plusieurs espèces, on n'a pas observé d'effets après une exposition de 60 minutes à des concentrations allant jusqu'à 40 ppm.

Les données relatives à l'exposition industrielle au fluor sont rares et l'expérience que l'on peut avoir de l'exposition de longue durée au trifluorure de chlore et au difluorure d'oxygène est encore plus restreinte.

Fluorures

Après l'ingestion de fluorures solubles en quantités allant de 5 à 10 g, l'issue fatale est une quasi-certitude pour un adulte humain. Des décès sont survenus à la suite de l'ingestion de fluorure

d'hydrogène, de fluorure de sodium et de fluosilicates, mais on connaît des cas où l'intoxication par ces composés ou par d'autres fluorures comme la cryolithe, un fluorure peu soluble de sodium et d'aluminium, n'a pas été mortelle.

Dans l'industrie, les poussières chargées de fluorures sont responsables, dans une importante proportion, de l'exposition effective ou potentielle aux fluorures, et l'ingestion de ces poussières peut être un facteur déterminant. L'exposition professionnelle aux fluorures peut être due en grande partie à des fluorures gazeux mais, même dans ce cas, l'ingestion ne doit pas être exclue soit parce qu'il peut y avoir contamination d'aliments ou de boissons consommés sur le lieu de travail, soit parce que les fluorures peuvent être aspirés lors d'une quinte de toux et avalés. Dans le cas d'une exposition à un mélange de fluorures gazeux et particulaires, l'absorption peut s'opérer par inhalation aussi bien que par ingestion.

La fluorose ou intoxication chronique par le fluor, due à l'accumulation de fluorures dans le tissu osseux humain et animal, a été largement décrite. Les symptômes consistent en une opacification accrue du tissu osseux à l'examen radiographique, la formation d'exostoses aplaties à la surface des côtes et la calcification des ligaments intervertébraux. La fluorose entraîne également l'apparition de taches sur l'émail des dents. On n'a pas encore tout à fait élucidé la relation qui existe entre le taux urinaire de fluorures et le dépôt osseux de fluorures. Toutefois, dans le cas où le taux urinaire de fluorures d'un travailleur reste constamment inférieur à 4 ppm, il n'y a pas lieu de s'alarmer; lorsque le taux urinaire de fluorure atteint 6 ppm, il faut envisager le contrôle individuel des travailleurs et des mesures de prévention technique; à partir de 8 ppm et au-delà, on doit s'attendre à l'opacification radiologique du tissu osseux par accumulation de fluor dans le squelette, pour peu que les conditions d'exposition se maintiennent au même niveau pendant plusieurs années.

Les fluoroborates ont ceci d'unique qu'une fois absorbés ils sont presque totalement excrétés par les urines. Dans ces conditions, il ne se produit que peu ou pas de dissociation de l'ion fluoroborate en fluorure et, par conséquent, il n'y a pas à craindre de dépôt osseux de fluorure.

Dans une étude réalisée auprès de personnes travaillant sur de la cryolithe, environ la moitié des sujets interrogés s'est plainte d'inappétence et d'essoufflement; une plus faible proportion a mentionné une constipation, une douleur localisée à la région du foie et d'autres symptômes. On a constaté un faible degré de fluorose chez des personnes travaillant sur de la cryolithe et exposées pendant 2 à 2,5 ans à ce composé; des signes mieux définis ont été observés chez celles qui avaient été exposées pendant près de 5 ans, les signes d'une fluorose modérée se manifestant chez celles qui avaient été exposées pendant plus de 11 ans.

Des cas d'asthme professionnel chez les travailleurs d'un hall de production d'aluminium par électrolyse ont été imputés à une exposition aux fluorures.

Les risques imputables au *fluorure de calcium* (spathe fluor) tiennent essentiellement à la nocivité du fluor qu'il renferme et dont les effets chroniques consistent en affections dentaires, osseuses ou autres. On a observé des lésions pulmonaires chez des personnes ayant inhalé des poussières qui contenaient de 92 à 96% de fluorure de calcium et 3,5% de silice. On en a conclu que le fluorure de calcium potentialise l'action fibrogène de la silice sur le tissu pulmonaire. Des cas de bronchite et de silicose ont été rapportés parmi les mineurs de fluorure de calcium.

Risques pour l'environnement

Les installations industrielles utilisant des quantités importantes de composés du fluor, telles que les usines sidérurgiques et les aciéries, les fonderies d'aluminium, les usines de production de superphosphates et autres, peuvent émettre dans l'atmosphère

des gaz, des fumées ou des poussières contenant du fluor. On a rapporté des cas de pollution de l'environnement aboutissant à l'intoxication d'animaux qui paissaient sur des prairies contaminées, avec notamment une fluorose dentaire (tachetures de l'émail) et des dépôts fluorés dans le tissu osseux entraînant une atrophie de ce dernier, et à la corrosion des vitres des maisons voisines.

Brome et dérivés

Le brome est largement répandu dans la nature sous forme de composés minéraux comme les bromures qui sont présents dans l'eau de mer et les lacs salés. On trouve également de petites quantités de brome dans les tissus animaux et végétaux. On l'extrait des lacs salés ou de forages, de l'eau de mer et des eaux mères résultant du traitement des sels de potassium (sylvite, carnallite).

Le brome est un liquide très corrosif, dont les vapeurs sont extrêmement irritantes pour les yeux, la peau ou les muqueuses. Le contact prolongé avec les tissus vivants peut causer des brûlures profondes, longues à guérir et qui s'ulcèrent facilement; le brome est également toxique par ingestion, inhalation et résorption percutanée.

Il faut veiller à ne pas dépasser une concentration de brome de 0,5 mg/m³ en cas d'exposition prolongée; à la concentration de 3 à 4 mg/m³, il est impossible de travailler sans masque de protection respiratoire. Une concentration de 11 à 23 mg/m³ produit une suffocation violente et on considère généralement qu'une concentration de 30 à 60 mg/m³ est extrêmement dangereuse pour l'être humain, une concentration de 200 mg/m³ pouvant entraîner très rapidement la mort.

Le brome présente des propriétés cumulatives, car il se dépose dans les tissus sous forme de bromure et déplace les autres halogènes (iode et chlore). Les effets à long terme comportent notamment des troubles neurologiques.

Les personnes exposées régulièrement à des concentrations trois à six fois supérieures à la limite d'exposition pendant 1 an se plaignent de céphalées, de douleurs dans la région du cœur et au niveau des articulations, d'irritabilité croissante, d'inappétence et de dyspepsie. Au cours de la cinquième ou sixième année de travail, on peut constater une perte des réflexes cornéens, des pharyngites, des troubles végétatifs et une hyperplasie thyroïdienne accompagnée d'un dysfonctionnement de la thyroïde. Des troubles cardio-vasculaires se produisent également sous forme de dégénérescence du myocarde et d'hypotension; des troubles fonctionnels et sécrétoires des voies digestives peuvent également apparaître. On observe des signes d'inhibition de la leucopoïèse et de leucocytose dans le sang. La concentration de brome dans le sang varie entre 0,15 mg/100 cm³ et 1,5 mg/100 cm³, indépendamment du degré d'intoxication.

Le bromure d'hydrogène gazeux est décelable sans irritation à 2 ppm. L'acide bromhydrique, sa solution à 47% dans l'eau, est un liquide corrosif, jaune pâle, à l'odeur âcre, qui vire au jaune foncé sous l'action de l'air ou de la lumière.

L'action toxique de l'acide bromhydrique est deux à trois fois moins prononcée que celle du brome, mais plus aiguë que celle du chlorure d'hydrogène. La forme gazeuse et la forme aqueuse irritent les muqueuses des voies aériennes supérieures à partir de 5 ppm. L'intoxication chronique se caractérise par une inflammation des voies aériennes supérieures et par des troubles digestifs, une légère altération des réflexes et une érythropénie. La sensibilité olfactive peut être affectée. Le contact avec la peau et les muqueuses peut causer des brûlures.

Les acides oxygénés du brome (*acide bromique* et *acide hypobromeux*) n'existent qu'en solution ou sous forme de sels. Leur action sur l'organisme s'apparente à celle de l'acide bromhydrique.

Les bromures ferroso-ferriques sont des substances solides utilisées dans les industries pharmaceutique et chimique et pour la fabrication des produits photographiques. On les prépare par passage d'un mélange de brome et de vapeur d'eau sur un lit de limaille de fer. Le sel de brome sirupeux qui en résulte est déversé à chaud dans des récipients en fer où il se solidifie. Le brome humide (c'est-à-dire contenant plus de 20 ppm d'eau) corrode la plupart des métaux, et le brome élémentaire doit être transporté à l'état sec dans des récipients hermétiques en Monel (cupronickel), en nickel ou en plomb. Pour parer au risque de corrosion, on transporte souvent le brome sous la forme de son sel ferroso-ferrique.

On rencontre le bromophosgène, produit de la décomposition du bromochlorométhane, dans la production du violet de gentiane. Il est issu de la combinaison de l'oxyde de carbone avec le brome en présence de chlorure d'ammonium anhydre.

L'action toxique du bromophosgène s'apparente à celle du phosgène (voir «Le phosgène» dans le présent article).

Le bromure de cyanogène est une substance solide utilisée pour l'extraction de l'or et comme pesticide. Il réagit avec l'eau pour donner de l'acide cyanhydrique et du bromure d'hydrogène. Son action toxique s'apparente à celle de l'acide cyanhydrique et sa toxicité est probablement similaire à celle de ce composé.

Le bromure de cyanogène est aussi un puissant irritant qui, à concentration élevée, peut être cause d'œdèmes et d'hémorragies pulmonaires. L'exposition à 20 ppm pendant 1 minute et à 8 ppm pendant 10 minutes est insupportable. Chez la souris et le chat, une concentration de 70 ppm provoque une paralysie en 3 minutes, et une concentration de 230 ppm est mortelle.

Chlore et dérivés minéraux

Les composés du chlore sont largement répandus dans la nature, puisqu'ils constituent environ 2% de l'écorce terrestre, en particulier sous la forme de chlorure de sodium dans l'eau de mer et sous forme de carnallite et de sylvite dans les gisements naturels.

Le chlore gazeux est principalement un irritant de l'appareil respiratoire. A concentration suffisante, le gaz irrite les muqueuses, les voies respiratoires et les yeux. Dans des cas extrêmes, les difficultés respiratoires peuvent atteindre un tel point que la mort se produit par suite d'un collabage du poumon ou d'une insuffisance pulmonaire. L'odeur pénétrante caractéristique du chlore gazeux avertit généralement de sa présence dans l'air. De plus, à concentration élevée, il devient visible sous forme de gaz jaune verdâtre. Le contact du chlore liquide avec la peau ou les yeux provoque des brûlures chimiques ou des gelures.

Les effets du chlore peuvent s'aggraver dans les 36 heures suivant l'exposition. Une observation attentive des sujets exposés doit faire partie du programme de surveillance médicale.

Exposition chronique. La plupart des études indiquent qu'il n'existe pas de relation significative entre certains effets nocifs observés et l'exposition chronique à de faibles concentrations de chlore. Une étude finlandaise réalisée en 1983 a mis en évidence une augmentation des cas de toux chronique et une tendance à l'hypersecretion muqueuse parmi les travailleurs. Toutefois, les tests ou radiographies réalisés sur ces travailleurs n'ont pas révélé d'anomalies de la fonction pulmonaire.

Une étude a été menée en 1993 par l'Institut de toxicologie de l'industrie chimique (Chemical Industry Institute of Toxicology) sur des rats et des souris exposés par la voie respiratoire à du chlore gazeux à des concentrations de 0,4, 1,0 ou 2,5 ppm jusqu'à 6 heures par jour et 3 à 5 jours par semaine pendant une durée pouvant atteindre 2 ans. Aucun signe de cancer n'a été décelé. L'exposition au chlore a provoqué des lésions nasales à toutes les concentrations utilisées. Etant donné que les rongeurs respirent obligatoirement par le nez, on ne sait pas comment ces résultats doivent être extrapolés à l'humain.

Le chlore peut s'accumuler en concentrations nettement plus élevées que les valeurs seuils habituelles sans être immédiatement décelable; on perd en effet rapidement son aptitude à détecter l'odeur du chlore sous faible concentration. On a observé que l'exposition prolongée à une concentration atmosphérique de chlore de 5 ppm provoque une atteinte bronchique et une prédisposition à la tuberculose. L'exploration fonctionnelle du poumon montre que des concentrations de 0,8 à 1,0 ppm entraînent une diminution permanente, bien que modérée, de la fonction pulmonaire. L'apparition d'acné, appelée communément «acné chlorique», n'est pas rare chez des personnes exposées pendant une durée prolongée à de faibles concentrations de chlore. L'émail des dents peut être également attaqué.

Oxydes et autres dérivés

Il existe au total cinq oxydes de chlore, à savoir l'hémioxyde de chlore ou monoxyde de dichlore, le monoxyde de chlore, le dioxyde de chlore, l'hexoxyde de dichlore et l'heptoxyde de dichlore; de manière générale, leur action sur l'organisme est identique à celle du chlore et appelle les mêmes mesures de précaution. De tous, le plus largement utilisé dans l'industrie est le dioxyde de chlore. Il irrite les voies respiratoires et les yeux comme le chlore, mais plus fortement. L'intoxication aiguë par inhalation est caractérisée par une bronchite et un œdème pulmonaire, les symptômes observés chez les victimes étant la toux, une respiration sifflante, une détresse respiratoire, un écoulement nasal abondant et une irritation des yeux et de la gorge.

Le chlorure d'azote est un puissant irritant de la peau et des muqueuses, notamment celles des yeux et des voies respiratoires. Ses vapeurs sont aussi corrosives que celles du chlore. Il est fortement toxique par ingestion.

La concentration létale moyenne (CL₅₀) du chlorure d'azote chez le rat est de 12 ppm selon une étude au cours de laquelle des rats ont été exposés pendant 1 heure à des concentrations allant de 0 à 157 ppm. Des chiens alimentés avec une farine blanchie au chlorure d'azote manifestent rapidement une ataxie et des convulsions épileptiformes. L'examen histologique des animaux soumis à l'expérience a montré une nécrose du cortex cérébral et une atteinte des cellules de Purkinje dans le cervelet. Le noyau des hématies nucléées peut être également affecté.

Le chlorure d'azote peut exploser sous l'effet d'un choc, de la chaleur, d'ondes supersoniques ou même spontanément. La présence de certaines impuretés peut augmenter le risque d'explosion. Il explose également au contact de traces de certains composés organiques — en particulier la térébenthine. Ses produits de décomposition sont des dérivés chlorés très toxiques.

Industriellement, le phosgène (COCl₂) est obtenu par réaction du chlore sur l'oxyde de carbone. Du phosgène se forme également lorsque certains hydrocarbures chlorés (en particulier le dichlorométhane, le tétrachlorure de carbone, le chloroforme, le trichloréthylène, le perchloréthylène et l'hexachloréthane) entrent en contact avec une flamme nue ou un métal chaud, comme dans les opérations de soudage. La décomposition d'hydrocarbures chlorés dans des espaces clos peut produire une accumulation de phosgène en concentration toxique, par exemple lors de l'utilisation du tétrachlorure de carbone pour l'extinction des feux ou du tétrachloréthylène comme lubrifiant dans l'usinage de l'acier fin.

Le phosgène anhydre ne corrode pas les métaux mais, en présence d'eau, il réagit pour donner de l'acide chlorhydrique qui, lui, est corrosif.

Le phosgène est l'un des gaz les plus toxiques utilisés dans l'industrie. L'inhalation de 50 ppm pendant une courte durée est mortelle pour les animaux de laboratoire. Pour l'être humain, l'inhalation de 2 à 5 ppm pendant une durée prolongée présente

des risques. Le phosgène est d'autant plus dangereux qu'il n'avertit pas de sa présence et qu'on peut l'inhaler en ressentant simplement une légère irritation des muqueuses des voies respiratoires et des yeux aux concentrations de 4 à 10 ppm. L'exposition à 1 ppm pendant une durée prolongée peut provoquer un œdème pulmonaire retardé.

Les cas d'intoxication légère sont suivis d'une bronchite passagère. Dans les épisodes graves, un œdème pulmonaire à retardement se produit parfois. Ce phénomène peut se manifester après une période de latence de plusieurs heures, habituellement de 5 à 8, mais rarement de plus de 12. Le plus souvent, le patient reste conscient jusqu'au bout; la mort survient par asphyxie ou insuffisance cardiaque. Si le patient survit aux 2 à 3 premiers jours, le pronostic est généralement favorable. Des concentrations élevées de phosgène provoquent une attaque acide immédiate du tissu pulmonaire et entraînent rapidement la mort par suffocation et arrêt de la circulation intrapulmonaire.

Protection de l'environnement

Le chlore libre détruit la végétation et peut, dans certaines conditions météorologiques, s'accumuler en concentrations susceptibles de porter atteinte aux végétaux; il importe, en conséquence, d'en interdire absolument le rejet dans l'atmosphère. S'il n'est pas possible de récupérer le chlore libéré pour produire de l'acide chlorhydrique ou d'autres composés, toutes précautions utiles doivent être prises pour combiner le chlore, notamment par barbotage dans de la chaux. Des dispositions techniques doivent être prises sur le plan de la sécurité, avec système d'alarme automatique, dans les établissements de production et à leurs abords, partout où il existe un risque de libération dans l'atmosphère environnante de quantités importantes de chlore.

En ce qui concerne la pollution de l'environnement, il faut accorder une attention particulière aux bouteilles et autres récipients utilisés pour le transport du chlore ou de ses composés, aux mesures destinées à maîtriser les risques éventuels, et à celles qui doivent être prises en cas d'urgence.

Iode et dérivés

L'iode n'existe pas à l'état natif, mais des traces d'iodures ou d'iodates, voire les deux à la fois, sont présentes en tant qu'impuretés dans des gisements d'autres sels. Le nitrate ou salpêtre que l'on extrait au Chili renferme suffisamment d'iodate (environ 0,2% d'iodate de sodium) pour justifier une exploitation commerciale. De même, certaines saumures naturelles, aux États-Unis en particulier, contiennent des quantités récupérables d'iodures. L'iodure des océans se concentre dans certaines algues (varech), dont l'incinération produisait jadis des cendres qui constituaient un débouché commercial important en France, au Royaume-Uni et au Japon.

L'iode est un puissant agent oxydant. Au contact de substances telles que l'acétylène ou l'ammoniac, il peut produire une explosion.

Les vapeurs d'iode, même sous faible concentration, sont extrêmement irritantes pour les voies respiratoires, les yeux et, dans une moindre mesure, la peau. Des concentrations dans l'air ne dépassant pas 0,1 ppm peuvent causer une certaine irritation des yeux si l'exposition se prolonge. Au-delà de 0,1 ppm, celle-ci devient de plus en plus forte et s'accompagne d'une irritation des voies respiratoires avant de culminer en œdème pulmonaire. La probabilité d'autres effets généraux est quasiment nulle, à moins que le sujet exposé à l'inhalation de vapeurs d'iode ne souffre de troubles thyroïdiens. L'iode est absorbé au niveau des poumons, transformé en iode dans l'organisme, puis éliminé principalement par voie urinaire. À l'état cristallin ou en solution concentrée, l'iode est un puissant irritant de la peau; on ne peut pas l'extraire facilement du

tissu cutané où il tend à pénétrer après le contact, causant une lésion durable. Les lésions cutanées provoquées par l'iode s'apparentent aux brûlures thermiques, avec cette différence que la peau brûlée est colorée en brun. Des ulcérations longues à guérir peuvent apparaître du fait que l'iode reste fixé dans les tissus.

La dose létale moyenne probable de l'iode par voie orale est de 2 à 3 g chez l'adulte et elle est due à son action corrosive sur les voies digestives. En règle générale, les composés iodés (qu'ils soient organiques ou minéraux) se révèlent plus toxiques que leurs analogues bromés ou chlorés. Outre sa toxicité en tant qu'halogène, l'iode se concentre dans la glande thyroïde (propriété que l'on met à profit pour traiter les tumeurs thyroïdiennes par l'iode radioactif ^{131}I), d'où il s'ensuit qu'une surexposition peut donner lieu à des troubles métaboliques. L'absorption chronique détermine «l'iodisme», maladie caractérisée par une tachycardie, des tremblements, une perte de poids, des insomnies, de la diarrhée, une conjonctivite, une rhinite et une bronchite. Enfin, l'organisme peut acquérir une hypersensibilité à l'iode, caracté-

risée par des éruptions cutanées et de la rhinite ou de l'asthme, voire les deux à la fois.

Radioactivité. L'iode possède le numéro atomique 53 et une masse atomique qui va de 117 à 139 selon l'isotope. Son seul isotope stable a une masse de 127 (126,9004); ses isotopes radioactifs ont une période allant de quelques secondes (masse atomique de 136 et au-delà) à plusieurs millions d'années (^{129}I). Lors des réactions qui caractérisent le processus de fission dans un réacteur nucléaire, ^{131}I se forme en abondance. Cet isotope a une période de 8,070 jours; il émet des rayonnements bêta et gamma dont les pics d'énergie sont respectivement de 0,606 MeV (maximum) et de 0,36449 MeV.

En pénétrant dans l'organisme par une voie quelconque, l'iode minéral (iodure) se concentre dans la glande thyroïde. Par conséquent, si l'on tient compte du fait que la fission nucléaire produit une grande quantité de ^{131}I , on peut dire que l'iode est la substance la plus dangereuse qui puisse être libérée d'un réacteur nucléaire, volontairement ou accidentellement.

TABLEAUX DES HALOGENES ET DE LEURS DERIVES COMPOSES

Tableau 104.85 • Identification chimique

Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
Brome	UN1744	7726-95-6	$\text{Br}-\text{Br}$
Bromure d'hydrogène	Acide bromhydrique UN1788	10035-10-6	$\text{H}-\text{Br}$
Chlore	Chlore moléculaire UN1017	7782-50-5	$\text{Cl}-\text{Cl}$
Chlorure d'azote	Nitruure de chlore; trichlorure d'azote; trichloramine	10025-85-1	
Chlorure de soufre	Sous-chlorure de soufre; monochlorure de soufre; dichlorure de disoufre	10025-67-9	
Dichlorure de soufre		10545-99-0	
Difluorure d'oxygène	Monoxyde de fluor; oxyde de fluor; fluorure d'oxygène UN2190	7783-41-7	
Fluor	Fluor UN1045	7782-41-4	$\text{F}-\text{F}$
Fluorure d'hydrogène	Acide fluorhydrique anhydre UN1052 UN1790	7664-39-3	$\text{H}-\text{F}$
Fluorure de calcium		7789-75-5	Ca^{++} $\text{F}^- \quad \text{F}^-$
Fluorure de carbonyle	Oxyfluorure de carbone; difluorure de carbonyle; difluoroformaldéhyde; fluorure de fluoroformyle; fluorophosgène UN2417	353-50-4	
Fluorure de perchlore	Oxyfluorure de chlore UN3083	7616-94-6	
Fluorure de sulfuryle	Oxyfluorure de soufre UN2191	2699-79-8	
Hexafluorosilicate de sodium		16893-85-9	$\text{Na}^+ \quad \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{F}-\text{Si}^2-\text{F} \\ \\ \text{F} \end{array} \quad \text{Na}^+$
Hexafluorure de soufre	UN1080	2551-62-4	
Iode		7553-56-2	$\text{I}-\text{I}$
Oxyde de chlore	Dioxyde de chlore; oxyde de chlore (IV); peroxyde de chlore	10049-04-4	
Pentabromure de phosphore		7789-69-7	
Pentafluorure de brome	UN1745	7789-30-2	

Tableau 104.85 • Identification chimique

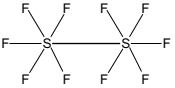
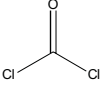
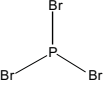
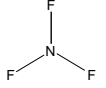
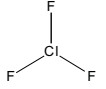
Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
Pentafluorure de soufre	Pentafluorure de disoufre; décafluorure de soufre	5714-22-7	
Phosgène	Chlorure de carbonyle; dichlorure de carbonyle; chlorure de chloroformyle UN1076	75-44-5	
Tribromure de phosphore	Bromure de phosphore; tribromophosphine UN1808	7789-60-8	
Trifluorure d'azote	Fluorure d'azote UN2451	7783-54-2	
Trifluorure de chlore	Fluorure de chlore UN1749	7790-91-2	

Tableau 104.86 • Risques pour la santé

Nom chimique et numéro CAS	Fiches internationales de sécurité chimique (ICSC)				NIOSH	
	Exposition de courte durée	Exposition de longue durée	Voies d'exposition	Symptômes	Organes cibles et voies de pénétration	Symptômes
Brome 7726-95-6	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Peau; poumons	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Corrosion, sensation de brûlure, toux, étourdissements, céphalées, respiration laborieuse, mal de gorge Corrosion, rougeurs, brûlures, douleurs Corrosion, rougeur, douleurs, brûlures profondes et graves Corrosion, crampes abdominales, sensation de brûlure, mal de gorge, collapsus	Voies respiratoires; yeux; système nerveux central; peau Inhalation; ingestion; contact	Étourdissements; céphalées; larmolement; épistaxis; toux; sensation d'oppression; œdème pulmonaire; pneumopathie; douleurs abdominales; diarrhée; éruption évoquant la rougeole; brûlures oculaires et cutanées
Chlore 7782-50-5	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons; peau	Poumons	Inhalation Peau Yeux	Corrosion, sensation de brûlure, toux, céphalées, respiration laborieuse, nausées, essoufflement, mal de gorge; les symptômes peuvent être retardés Corrosion, brûlures, douleurs Corrosion, douleurs, vision trouble, brûlures profondes et graves	Voies respiratoires; yeux; peau Inhalation; contact	Brûlure des yeux, du nez et de la cavité buccale; larmolement; rhinorrhée; toux; étouffement; douleurs sous-sternales; nausées; vomissements; céphalées; étourdissements; syncope; œdème pulmonaire; pneumopathie; hypoxémie; dermatite; sous forme de liquide: gelures
Chlorure de soufre 10025-67-9	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons; corrosion par ingestion	Peau	Inhalation Peau Yeux	Sensation de brûlure, toux, céphalées, respiration laborieuse, nausées, vomissements Rougeurs, brûlures, sensation de brûlure, douleurs, phlyctènes Rougeur, douleurs, brûlures profondes et graves	Voies respiratoires; peau; yeux Inhalation; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau et des muqueuses; larmolement; toux; brûlures oculaires et cutanées; œdème pulmonaire
Difluorure d'oxygène 7783-41-7	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons		Inhalation Peau	Toux, respiration laborieuse, mal de gorge Lors d'un contact avec le liquide: gelures	Voies respiratoires; yeux; peau Inhalation; contact	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires; céphalées; œdème pulmonaire; brûlures oculaires et cutanées (lors d'un contact avec du gaz sous pression)
Fluor 7782-41-4	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Peau	Inhalation Peau Yeux	Corrosion, toux, essoufflement, mal de gorge, étouffement Corrosion, rougeurs, brûlures profondes et graves; lors d'un contact avec le liquide: gelures Rougeur, brûlures profondes et graves	Voies respiratoires; yeux; peau; foie; reins Inhalation; contact	Irritation des yeux, du nez et des voies respiratoires; spasmes du larynx et des bronches; œdème pulmonaire; brûlures oculaires et cutanées; chez l'animal: lésions hépatiques et rénales
Fluorure d'hydrogène 7664-39-3	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons		Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux, respiration laborieuse, mal de gorge; les symptômes peuvent être retardés Résorption possible, brûlures profondes et graves Rougeur, douleurs, vision trouble Douleurs abdominales, diarrhée, mal de gorge, vomissements; les symptômes peuvent être retardés	Yeux; voies respiratoires; peau; os Inhalation; absorption (sous forme de liquide); ingestion (en solution); contact	Irritation des yeux, de la peau, du nez et de la gorge; œdème pulmonaire; brûlures oculaires et cutanées; rhinite; bronchite; anomalies osseuses
Fluorure de carbonyle 353-50-4	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Sang	Inhalation Peau Yeux	Toux, respiration laborieuse, mal de gorge; les symptômes peuvent être retardés Rougeurs; lors d'un contact avec le liquide: gelures Rougeur	Yeux; peau; voies respiratoires; os Inhalation; contact	Irritation des yeux, de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires; brûlures oculaires et cutanées; larmolement; toux; œdème pulmonaire; dyspnée; exposition chronique: douleurs digestives; fibrillation musculaire; fluorose osseuse; sous forme de liquide: gelures

Tableau 104.86 • Risques pour la santé

Nom chimique et numéro CAS	Fiches internationales de sécurité chimique (ICSC)				NIOSH	
	Exposition de courte durée	Exposition de longue durée	Voies d'exposition	Symptômes	Organes cibles et voies de pénétration	Symptômes
Fluorure de perchlore 7616-94-6	Voies respiratoires; peau	Sang	Inhalation Peau Yeux	Céphalées Lors d'un contact avec le liquide: gelures Brûlures profondes et graves	Voies respiratoires; peau; sang Inhalation; contact (sous forme de liquide)	Irritation des voies respiratoires; sous forme de liquide: gelures; chez l'animal: méthémoglobinémie; cyanose; faiblesse; étourdissements; céphalées; œdème pulmonaire; pneumopathie; anoxie
Hexafluorure de soufre 2551-62-4	Peau		Peau Yeux	Lors d'un contact avec le liquide: gelures Lésions cornéennes	Voies respiratoires Inhalation	Asphyxie; augmentation de la fréquence respiratoire et cardiaque; légère incoordination musculaire; troubles émotionnels; fatigue; nausées; vomissements; convulsions
Oxyde de chlore 10049-04-4	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Poumons	Inhalation Peau	Corrosion, toux, céphalées, respiration laborieuse, nausées, essoufflement, mal de gorge; les symptômes peuvent être retardés Corrosion, rougeurs, brûlures graves, douleurs	Voies respiratoires; yeux Inhalation; ingestion (sous forme de liquide); contact	Irritation des yeux, du nez et de la gorge; toux; respiration sifflante; bronchite; œdème pulmonaire; bronchite chronique
Pentafluorure de brome 7789-30-2	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Foie; reins; voies respiratoires	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, essoufflement, mal de gorge Brûlures, douleurs, phlyctènes Douleurs, vision trouble, brûlures profondes et graves Douleurs abdominales, sensation de brûlure	Yeux; peau; voies respiratoires; foie; reins Inhalation; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires; nécrose de la cornée; brûlures cutanées; toux; dyspnée; œdème pulmonaire; lésions hépatiques et rénales
Pentafluorure de soufre 5714-22-7					Voies respiratoires; système nerveux central; yeux; peau Inhalation; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires; chez l'animal: œdème pulmonaire; hémorragie
Phosgène 75-44-5	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Poumons	Inhalation	Corrosion, sensation de brûlure, toux, respiration laborieuse, essoufflement, mal de gorge	Voies respiratoires; peau; yeux Inhalation; contact (sous forme de liquide)	Irritation des yeux; gorge sèche et brûlante; vomissements; toux; expectorations spumeuses; dyspnée; douleurs thoraciques; cyanose; sous forme de liquide: gelures
Trifluorure de chlore 7790-91-2	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons		Inhalation Peau Yeux	Toux, respiration laborieuse, mal de gorge Corrosion, rougeurs, brûlures profondes et graves, douleurs Cécité permanente, brûlures profondes et graves	Peau; yeux; voies respiratoires Inhalation; ingestion (sous forme de liquide); contact	Brûlures des yeux et de la peau (sous forme de liquide ou de vapeur concentrée); irritation des voies respiratoires; chez l'animal: larmolement; ulcérations cornéennes; œdème pulmonaire

Tableau 104.87 • Risques physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Risques physiques	Risques chimiques	Classification ONU/risques subsidiaires
Brome 7726-95-6	Vapeur plus lourde que l'air	Dégagement de vapeurs toxiques sous l'effet de la chaleur. Oxydant énergétique qui réagit violemment avec les matières combustibles et réductrices. Réagit violemment sur l'ammoniac, les oxydants, les métaux, les composés organiques et le phosphore avec risque d'incendie et d'explosion. Attaque certains plastiques, le caoutchouc et divers revêtements	3/6.1
Bromure d'hydrogène 10035-10-6	Gaz plus lourd que l'air	Acide fort en solution dans l'eau qui réagit violemment avec les bases et qui est corrosif. Réagit violemment sur les oxydants énergiques et de nombreux composés organiques avec risque d'incendie et d'explosion. Attaque de nombreux métaux, avec dégagement d'hydrogène très inflammable	8
Chlore 7782-50-5	Gaz plus lourd que l'air	Réagit violemment sur de nombreux composés organiques, l'ammoniac et les métaux finement divisés avec risque d'incendie et d'explosion. Attaque de nombreux métaux en présence d'eau. Attaque les plastiques et le caoutchouc	2.3/ 5.1/8
Chlorure de soufre 10025-67-9		La combustion dégage des gaz et des vapeurs toxiques (chlorure d'hydrogène, dioxyde de soufre, sulfure d'hydrogène). Se décompose en chlore toxique et en soufre solide par chauffage au-dessus de 300 °C. Réagit sur les peroxydes, les oxydes de phosphore et quelques composés organiques avec risque d'incendie et d'explosion. Réagit à l'air humide avec dégagement de vapeurs corrosives (acide chlorhydrique). Le contact avec l'eau provoque une réaction violente qui donne naissance à du chlorure d'hydrogène gazeux (ou de l'acide chlorhydrique), du dioxyde de soufre, du soufre, des acides sulfureux et thiosulfuriques et du sulfure d'hydrogène, qui peuvent corroder les récipients métalliques et provoquer des dégagements d'hydrogène inflammable	8
Dichlorure de soufre 10545-99-0			8
Difluorure d'oxygène 7783-41-7	Gaz plus lourd que l'air	Se décompose par chauffage au-dessus de 250 °C, avec dégagement de vapeurs toxiques (fluor). Oxydant énergétique qui réagit violemment avec les matières combustibles et réductrices. Réagit de façon explosive avec le sulfure d'hydrogène à température ambiante et avec le chlore, le brome ou l'iode à chaud. Attaque le mercure. Explose au contact de la vapeur d'eau. La réaction du difluorure d'oxygène avec des éléments non métalliques tels que le phosphore rouge et le bore à l'état pulvérulent, ou avec la silice, l'alumine ou d'autres solides de ce genre dotés d'activité de surface, est exothermique et peut être explosive	2.3/5.1/8
Fluor 7782-41-4	Gaz plus lourd que l'air	Oxydant énergétique qui réagit violemment avec les matières combustibles et réductrices. Réagit violemment sur l'eau, avec dégagement de vapeurs toxiques d'ozone et de fluorure d'hydrogène. Réagit violemment sur l'ammoniac, les métaux, les oxydants et beaucoup d'autres matériaux avec risque d'incendie et d'explosion	2.3/5.1/8
Fluorure d'hydrogène 7664-39-3		Acide fort en solution dans l'eau qui réagit violemment avec les bases et qui est corrosif. Réagit violemment sur de nombreux composés avec risque d'incendie et d'explosion. Au contact de l'air, dégage des vapeurs corrosives plus lourdes que l'air et qui diffusent au ras du sol. Attaque le verre et d'autres composés contenant du silicium	3/6.1
Fluorure de carbonyle 353-50-4	Gaz plus lourd que l'air	Se décompose par chauffage à 450-490 °C, avec dégagement de gaz toxiques. Hydrolyse rapide dans l'eau en dioxyde de carbone et fluorure d'hydrogène	2.3/8
Fluorure de perchlore 7616-94-6		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques (fluor, oxydes de fluor, chlore, oxydes de chlore). Oxydant énergétique qui réagit violemment sur les matières combustibles et réductrices avec risque d'incendie et d'explosion. Attaque certains plastiques et le caoutchouc	2.3/5.1
Fluorure de sulfuryle 2699-79-8			2.3
Hexafluorure de soufre 2551-62-4	Gaz plus lourd que l'air pouvant s'accumuler dans des locaux bas de plafond en appauvrissant l'atmosphère en oxygène	Se décompose à la flamme, avec dégagement de vapeurs toxiques d'oxydes de soufre et de fluorure d'hydrogène. Le contact avec des surfaces chaudes produit du dioxyde de soufre. Formation de vapeurs toxiques sous l'effet de la chaleur. Réagit avec les oxydants énergiques et les alcalins ou alcalino-terreux	2.2
Oxyde de chlore 10049-04-4	Gaz plus lourd que l'air	Peut se décomposer en explosant en cas de choc, de frottement ou de secousse. Peut exploser par échauffement. Oxydant énergétique qui réagit violemment avec les matières combustibles et réductrices. Réagit violemment sur le mercure, le phosphore, le soufre et de nombreux composés avec risque d'incendie et d'explosion. Réagit avec l'eau pour donner de l'acide chlorhydrique et de l'acide chlorique	8
Pentabromure de phosphore 7789-69-7			8

Tableau 104.87 • Risques physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Risques physiques	Risques chimiques	Classification ONU/risques subsidiaires
Pentafluorure de brome 7789-30-2	Vapeur plus lourde que l'air	Se décompose par chauffage au-dessus de 460 °C ou au contact d'acides ou de vapeurs acides, avec dégagement de vapeurs très toxiques de fluor et de brome. Réagit violemment sur les matières combustibles et les composés organiques, les produits contenant de l'hydrogène (comme l'ammoniac, l'acide acétique, la graisse, le papier) avec risque d'incendie et d'explosion. Réagit de manière explosive sur l'eau ou la vapeur d'eau, avec dégagement de vapeurs toxiques et corrosives. Réagit avec tous les éléments connus, sauf l'azote, l'oxygène et les gaz rares	5.1/6.1/8
Phosgène 75-44-5	Vapeur plus lourde que l'air pouvant se propager au niveau du sol	Se décompose par chauffage au-dessus de 300 °C, avec dégagement de gaz toxiques ou corrosifs (notamment chlorure d'hydrogène, monoxyde de carbone, vapeurs de chlore). Réagit violemment avec les oxydants énergiques. Réagit lentement sur l'eau, avec dégagement de gaz corrosifs, irritants et toxiques. Réagit violemment avec les amines et l'aluminium. Attaque de nombreux métaux en présence d'eau. Attaque le métal, le plastique, le caoutchouc	2.3/8
Tribromure de phosphore 7789-60-8			8
Trifluorure d'azote 7783-54-2			2.3/5.1
Trifluorure de chlore 7790-91-2	Gaz plus lourd que l'air et corrosif	Se décompose au-dessus de 220 °C, avec dégagement de gaz toxiques (composés du chlore et du fluor). Réagit violemment avec l'eau, le sable, les composés contenant du silicium, le verre et l'amiante. Réagit avec tous les types de plastique, le caoutchouc et les résines, sauf les polymères perfluorés. La plupart des matériaux combustibles s'enflamment spontanément au contact de cette substance. Réagit violemment avec les matières oxydables, les métaux et leurs oxydes. Explose au contact des matières organiques. Emet des vapeurs très toxiques en présence d'acides	2.3/5.1/8

Tableau 104.88 • Propriétés physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Couleur/aspect	Point d'ébullition (°C)	Point de fusion (°C)	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité dans l'eau	Densité (eau = 1)	Densité de vapeur (air = 1)	Tension de vapeur (kPa)	Limites d'explosibilité (%)	Point d'éclair (°C)	Température d'auto-inflammation (°C)
Brome 7726-95-6	Liquide brun rougeâtre ou rouge foncé; vapeurs brun rougeâtre; cristaux orthorhombiques	59	-7	159,81	Soluble	3,102-3,103	5,51	23,3			
Chlore 7782-50-5	Gaz diatomique jaune verdâtre	-35 à -34	-101	70,91	Peu soluble	1,408 (liquide) à 695 kPa 2,898 g/L (gaz)	2,48	569-673*			
Chlorure d'azote 10025-85-1	Huile jaune ou cristaux orthorhombiques	71	-40	120,36	Insoluble	1,653	4,2	19,95		(explosion)	
Chlorure de soufre 10025-67-9	Liquide huileux d'ambre clair à rouge jaunâtre	136-138	-80 à -77	135,04	Réaction	1,68-1,69	4,66	1,3*		118* cf	234*
Dichlorure de soufre 10545-99-0	Liquide rouge foncé ou brun rougeâtre	59-60	-122*	102,97	Réaction	1,621	3,55	22,6			
Difluorure d'oxygène 7783-41-7	Gaz incolore; brun jaunâtre à l'état liquide	-145	-224	54,00	Réaction	1,90 (liquide) à -224 °C 2,207 g/L (gaz)	1,86	>101			
Fluor 7782-41-4	Gaz jaune verdâtre ou jaune pâle	-188	-220 à -219	38,00	Réaction	1,513 (liquide) à -188 °C 1,55-1,70 g/L (gaz)	1,3-1,7*				
Fluorure d'hydrogène 7664-39-3	Gaz incolore	19-20	-84 à -83	20,01	Très soluble	1,0 (liquide) à 4 °C 0,818 g/L (gaz)	0,7-1,3*	100-150*			
Fluorure de carbonyle 353-50-4	Gaz incolore	-85 à -83	-114 à -111	66,01	Réaction	1,139 (liquide) 2,698 g/L (gaz)	2,3				
Fluorure de perchlore 7616-94-6	Gaz incolore	-47	-148 à -146	102,45	Peu soluble	1,434 (liquide) 0,187 g/L (gaz)	3,5				
Fluorure de sulfuryle 2699-79-8	Gaz incolore	-55	-137 à -136	102,06	Soluble	1,7 (liquide) 4,172 g/L (gaz)	3,5-3,7				
Hexafluorosilicate de sodium 16893-85-9	Poudre granuleuse blanche		(décomposition)	188,06	Peu soluble	2,68-2,75					
Hexafluorure de soufre 2551-62-4	Gaz incolore; liquide à -50,5 °C	-64 (sublimation)	-51 à -50	146,06	Peu soluble	1,88 (liquide) à -50 °C 5,970 g/L (gaz)	5,1	2200-2308*			
Iode 7553-56-2	Ecaillés ou plaquettes noir bleuâtre; diatomique; cristaux orthorhombiques, violet noir avec éclat métallique	184-185	113-114	253,81	Peu soluble	4,933	8,8-9	40 Pa			

Tableau 104.88 • Propriétés physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Couleur/ aspect	Point d'ébullition (°C)	Point de fusion (°C)	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité dans l'eau	Densité (eau = 1)	Densité de vapeur (air = 1)	Tension de vapeur (kPa)	Limites d'explosibilité (%)	Point d'éclair (°C)	Température d'auto-inflammation (°C)
Oxyde de chlore 10049-04-4	Gaz de jaune à jaune rougeâtre à température ambiante; à l'état solide se présente comme une masse cristalline rouge jaunâtre; le liquide est brun rougeâtre	10-11	-60 à -59	67,45	Peu soluble	1,642 (liquide) à 0 °C	2,3	101	10-?		
Pentabromure de phosphore 7789-69-7	Masse jaune cristalline		~100 (décomposition)	430,49	Réaction	3,61*					
Pentafluorure de brome 7789-30-2	Liquide incolore; gaz incolore au-dessus de 40,3 °C	41	-61 à -60	174,90	Réaction (explosion)	2,460-2,482	6,05	43,6			
Phosgène 75-44-5	Gaz incolore	8	-128 à -118	98,92	Peu soluble	1,381 (liquide) 4,043 g/L (gaz)	3,4	161,6			
Tribromure de phosphore 7789-60-8	Liquide incolore; liquide jaune pâle	173-175	-42 à -40	270,69	Réaction	2,85-2,88		1,3*			
Trifluorure d'azote 7783-54-2	Gaz incolore	-129 à -120	-217 à -207	71,00	Insoluble	1,885 (liquide) à -129 °C 2,902 g/L (gaz)	2,46	-200*			
Trifluorure de chlore 7790-91-2	Gaz incolore; à l'état liquide: jaune-vert; à l'état solide: blanc	12	-76	92,45	Réaction	1,77* (liquide) 3,779 g/L (gaz)	3,18	148*			

PROPRIÉTÉS DES COMPOSÉS HÉTÉROCYCLIQUES

● HÉTÉROCYCLIQUES, COMPOSÉS

Les composés hétérocycliques sont utilisés comme intermédiaires de synthèse et solvants dans les industries pharmaceutique, chimique et textile, ainsi que dans celles des colorants, du pétrole et de la photographie. Plusieurs composés sont également employés comme accélérateurs de vulcanisation dans l'industrie du caoutchouc.

L'*acridine* et la *benzanthrone* sont utilisées comme produits de départ et intermédiaires de synthèse dans la fabrication des colorants. La *benzanthrone* trouve également une application en pyrotechnie. La *propylène-imine* est utilisée dans les floculants mis en œuvre pour le raffinage du pétrole et comme additif dans les propargols pour fusées. Elle a été employée dans les additifs pour huiles comme agent modificateur de viscosité, pour améliorer le comportement à haute pression et la résistance à l'oxydation. La *3-méthylpyridine* et la *4-méthylpyridine* servent d'agents imperméabilisants dans l'industrie textile. La *4-méthylpyridine* est utilisée comme solvant dans la synthèse des produits pharmaceutiques, des résines, des colorants, des accélérateurs de vulcanisation, des pesticides et également comme agent imperméabilisant. La *2-pyrrolidinone* est également employée dans les préparations pharmaceutiques et comme solvant à point d'ébullition élevé dans le traitement du pétrole. Elle entre dans la composition des encres d'imprimerie spéciales et de certains encaustiques pour parquets. La *4,4'-dithiodimorpholine* intervient dans l'industrie du caoutchouc comme agent antitaches et agent de vulcanisation. Dans l'industrie du caoutchouc, la *2-vinylpyridine* est utilisée pour la préparation d'un terpolymère qui entre dans la composition des adhésifs destinés à fixer le caoutchouc à l'entoilage dans les pneumatiques.

Plusieurs composés hétérocycliques — *morpholine*, *2-mercaptobenzothiazole*, *pipérazine*, *1,2,3-benzotriazole* et *quinoléine* — servent d'inhibiteurs de corrosion pour le cuivre et sont également utilisés comme tels dans le traitement industriel de l'eau. Le *2-mercaptobenzothiazole* est aussi employé comme inhibiteur de corrosion dans les huiles de coupe et les produits pétroliers, et comme additif des graisses à très haute pression. La *morpholine*, qui est un solvant des résines, des cires, de la caséine et de divers colorants, est également utilisée comme agent antimousse dans les industries du papier et du carton. De plus, elle entre dans la composition d'insecticides, de fongicides, d'herbicides, d'anesthésiques locaux et d'antiseptiques. Le *1,2,3-benzotriazole* est utilisé comme retardateur, agent de développement et agent antivoile dans les émulsions photographiques; il entre dans la composition des liquides de dégivrage pour avions militaires et sert également de stabilisant dans l'industrie des matières plastiques.

La *pyridine* intervient dans de nombreuses industries à la fois comme intermédiaire de synthèse et comme solvant. Elle sert dans la fabrication des vitamines, des sulfamides, des désinfectants, des colorants et des explosifs, et comme auxiliaire de teinture dans l'industrie textile. Elle est également utilisée dans les industries du caoutchouc et de la peinture, dans les forages de pétrole et de gaz, dans l'industrie alimentaire et dans la fabrication des boissons non alcoolisées comme agent aromatisant. Les *vinylpyridines* sont employées pour la production des polymères. Le *sulfolane*, à la fois solvant et plastifiant, est utilisé pour l'extraction des hydrocarbures aromatiques dans les raffineries de pétrole, dans le finissage des matières textiles et comme constituant des fluides hydrauliques. Le *tétrahydrothiophène* est utilisé comme solvant et pour odoriser le gaz combustible, notamment dans les systèmes d'alarme olfactive des mines souterraines. La *pipéridine* intervient dans la fabrication de produits pharmaceutiques,

d'agents mouillants et de germicides. On l'emploie aussi comme durcisseur pour résines époxy et elle entre, en proportion infime, dans la composition du mazout.

La *coumarine* trouve une application comme désodorisant et comme exaltateur d'arôme dans les savons, le tabac, les produits à base de caoutchouc et les parfums. On l'emploie également dans certaines préparations pharmaceutiques.

Risques

L'*acridine* est un puissant irritant qui, au contact de la peau ou des muqueuses, provoque prurit, brûlures, éternuements, larmolement et irritation de la conjonctive. Des travailleurs exposés à des poussières de cristaux d'acridine à des concentrations allant de 0,02 à 0,6 mg/m³ se sont plaints de céphalées, de troubles du sommeil, d'irritabilité et de photosensibilisation; ils présentaient également un œdème palpébral, de la conjonctivite, des éruptions cutanées, une leucocytose et une augmentation de la vitesse de sédimentation. Ces symptômes ne sont pas apparus pour des concentrations atmosphériques d'acridine de 1,01 mg/m³. Sous l'effet de la chaleur, l'acridine émet des vapeurs toxiques. L'acridine, comme un grand nombre de ses dérivés, présente des propriétés mutagènes et possède la capacité d'inhiber la réparation de l'ADN et la croissance cellulaire chez différentes espèces.

Chez l'animal, des doses d'*aminopyridines* proches de la dose létale augmentent l'excitabilité au son et au toucher, et provoquent des tremblements, des convulsions cloniques et une tétanie. Elles causent également une contraction des muscles squelettiques et des muscles lisses, ce qui entraîne vasoconstriction et hypertension. Certaines aminopyridines et alkylypyridines exerceraient sur le cœur une action inotrope et chronotrope. Les vinylpyridines provoquent des convulsions moins spectaculaires. L'intoxication aiguë peut se produire soit par inhalation de poussières et de vapeurs à des concentrations relativement faibles, soit par résorption percutanée.

La sensibilisation cutanée constitue un risque courant en cas d'exposition à la poussière de *benzanthrone*. La sensibilité varie d'un sujet à l'autre mais, dans les quelques mois ou années suivant l'exposition, les sujets sensibles, en particulier les blonds ou les roux, font un eczéma dont l'évolution peut être sévère et dont la phase aiguë peut laisser une pigmentation de couleur noisette ou gris ardoise, notamment autour des yeux. Au microscope, on peut observer une atrophie cutanée. Les troubles dermatologiques dus à la benzanthrone sont plus fréquents pendant la saison estivale et sont sensiblement aggravés par la chaleur et la lumière.

La *morpholine* est un composé modérément toxique par ingestion et par application sur la peau; la morpholine non diluée est fortement irritante pour la peau et les yeux. Elle ne semble pas avoir d'effet toxique chronique. Lorsqu'elle est exposée à la chaleur, elle présente un risque modéré d'incendie et sa décomposition thermique s'accompagne d'une libération de vapeurs contenant des oxydes d'azote.

La *phénothiazine* a des propriétés irritantes nocives, et l'exposition professionnelle peut provoquer des lésions de la peau et une photosensibilisation, notamment une kératite de photosensibilisation. Concernant son action sur l'organisme en général, on a fait état d'intoxications graves par suite de son utilisation thérapeutique, caractérisées par une anémie hémolytique et une hépatite toxique. En raison de sa faible solubilité, sa vitesse d'absorption dans les voies digestives dépend de la taille des particules. Sous forme micronisée, le médicament est rapidement absorbé. La toxicité de la substance est très variable d'un animal à l'autre, la DL₅₀ par voie orale chez le rat étant de 5 g/kg.

Bien que la phénothiazine s'oxyde assez facilement lorsqu'elle est exposée à l'air, le risque d'incendie qui y est lié n'est pas très élevé. Toutefois, en cas d'incendie, la phénothiazine produit des oxydes de soufre et d'azote très toxiques, qui sont de dangereux irritants pour les poumons.

La *pipéridine* est absorbée par voie respiratoire, digestive ou cutanée; elle provoque chez l'animal une réponse toxique similaire à celle des aminopyridines. Des doses élevées bloquent la voie de conduction ganglionnaire. De faibles doses causent une stimulation à la fois parasympathique et sympathique par suite de l'action sur les neurones ganglionnaires. Les signes de l'intoxication sont une augmentation de la tension artérielle et du rythme cardiaque, des nausées, des vomissements, une salivation, une respiration laborieuse, une faiblesse musculaire, une paralysie et des convulsions. Cette substance est très inflammable et dégage, à la température ambiante, des vapeurs en concentrations explosives. Les précautions recommandées pour la pyridine restent valables pour ce composé.

On dispose de quelques informations sur la *pyridine et ses homologues* grâce à des rapports cliniques concernant l'exposition humaine, principalement à l'occasion de traitements médicaux ou d'exposition aux vapeurs de pyridine. La pyridine est absorbée par la voie digestive, percutanée ou respiratoire. Les symptômes cliniques de l'intoxication comportent des troubles digestifs accompagnés de diarrhée, douleurs abdominales, nausées, faiblesse, céphalées, nervosité et insomnie. Une exposition moins importante que celle qui entraîne des manifestations cliniques évidentes peut malgré tout causer des lésions hépatiques de gravité variable, accompagnées de dégénérescence graisseuse centro-lobulaire, de congestion et d'infiltration cellulaire; à plus faible intensité, une exposition répétée peut provoquer une cirrhose. Il semble que le rein soit moins sensible que le foie aux effets de la pyridine. Généralement, la pyridine et ses dérivés causent une irritation locale au contact de la peau, des muqueuses et de la cornée. Des effets sur le foie pouvant se produire à des concentrations qui sont trop faibles pour provoquer une réponse du système nerveux, il n'existe donc pas de signe avertisseur pour le travailleur potentiellement exposé. De plus, bien que l'odeur de la pyridine soit facilement décelable à des concentrations inférieures à 1 ppm, sa détection ne peut pas être un indicateur fiable en raison d'une fatigue olfactive qui intervient rapidement.

La pyridine peut constituer, en phase liquide aussi bien qu'en phase vapeur, un risque grave d'incendie et d'explosion en présence d'une flamme; elle peut aussi réagir violemment avec les oxydants. Lorsqu'on chauffe la pyridine jusqu'à décomposition, elle libère des vapeurs de cyanure d'hydrogène.

Le *pyrrole* est un liquide inflammable et sa combustion dégage des oxydes d'azote dangereux. Il déprime le système nerveux central et, dans le cas d'une intoxication sévère, il agit également sur le foie. On dispose de quelques données concernant le degré de risque professionnel que présente cette substance. Il faut adopter

des mesures de protection et de prévention contre l'incendie et fournir du matériel pour l'extinction des feux. Un équipement de protection respiratoire doit être à la disposition des personnes qui combattent un feu impliquant du pyrrole.

On ne connaît guère de cas d'exposition humaine à la *pyrrolidine*. L'administration prolongée provoque, chez le rat, une diminution de la diurèse, une inhibition de la spermatogénèse, une diminution du taux sanguin d'hémoglobine et une excitation nerveuse. Comme c'est le cas pour de nombreux autres dérivés azotés, l'acidité de l'estomac peut entraîner la nitrosation de la pyrrolidine en *N*-nitrosopyrrolidine, un composé qui s'est révélé cancérigène pour des animaux de laboratoire. Certains travailleurs se plaignent de céphalées et de vomissements par suite d'une exposition.

Le liquide est capable de s'évaporer à la température ambiante en produisant des vapeurs suffisamment concentrées pour s'enflammer. Par conséquent, il faut éviter les flammes nues et autres sources d'ignition dans les zones où ce composé est utilisé. Lorsqu'elle brûle, la pyrrolidine libère des oxydes d'azote dangereux, et les personnes exposées à ces produits de combustion doivent être munies d'une protection respiratoire appropriée. Des cuvettes de rétention et des seuils surélevés doivent permettre d'éviter que le liquide ne se répande accidentellement à partir des récipients et des ballons ou réacteurs.

La *quinoléine* est résorbée par voie percutanée. Les signes cliniques de l'intoxication consistent en léthargie, détresse respiratoire et prostration pouvant aboutir au coma. Cette substance est irritante pour la peau et peut causer des lésions cornéennes graves et irréversibles. Elle est cancérigène pour plusieurs espèces animales; toutefois, on ne possède guère de données concernant le risque de cancer chez l'être humain. Elle est modérément inflammable, mais ne produit pas de vapeurs inflammables à une température inférieure à 99 °C.

Une brève exposition aux vapeurs de *2-vinylpyridine* peut provoquer une irritation des yeux, du nez et de la gorge ainsi que des céphalées, des nausées, de la nervosité et une anorexie temporaires. Le contact avec la peau provoque une sensation de brûlure suivie de brûlures profondes. Une sensibilisation peut se produire. Le risque d'incendie est modéré, et la décomposition sous l'effet de la chaleur s'accompagne de la libération de dangereux vapeurs de cyanure d'hydrogène.

Mesures de sécurité et de santé

Il faut appliquer les mesures de précaution ordinaires en présence des poussières et des vapeurs des composés chimiques appartenant à ce groupement. Etant donné qu'un certain nombre d'entre eux provoquent une sensibilisation cutanée, il est particulièrement important de veiller à ce que des installations sanitaires appropriées soient à la disposition des travailleurs. Ceux-ci doivent également disposer de locaux propres pour y prendre leur repas.

TABLEAUX DES COMPOSÉS HÉTÉROCYCLIQUES

Tableau 104.89 • Identification chimique

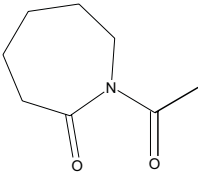
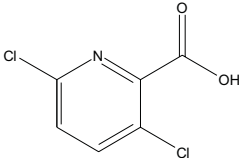
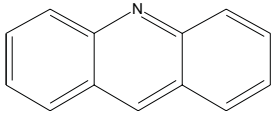
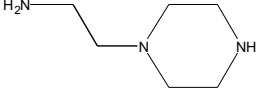
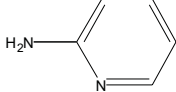
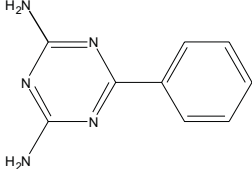
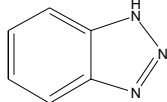
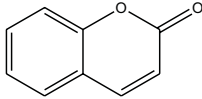
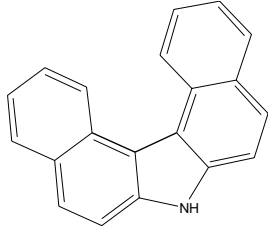
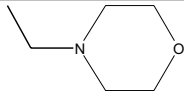
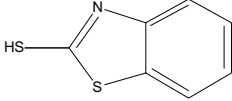
Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
<i>N</i> -Acétylcaprolactame	Acétylcaprolactame; 1-acétylhexahydro-2 <i>H</i> -azépine-2-one	1888-91-1	
Acide 3,6-dichloropicolinique	Acide 3,6-dichloro-2-pyridinecarboxylique	1702-17-6	
Acridine	Benzo(<i>b</i>)quinoléine; 2,3-benzoquinoléine; dibenzo(<i>b,e</i>)pyridine UN2713	260-94-6	
<i>N</i> -Aminoéthylpipérazine	<i>N</i> -(2-Aminoéthyl)pipérazine; 1-(2-aminoéthyl)pipérazine UN2815	140-31-8	
2-Aminopyridine	<i>o</i> -Aminopyridine; α -aminopyridine; amino-2-pyridine; α -pyridylamine; 2-pyridylamine UN2671	504-29-0	
Benzoguanamine	4,6-Diamino-2-phényl-s-triazine; 2-phényl-4,6-diamino-s-triazine; 2-phényl-4,6-diamino-1,3,5-triazine	91-76-9	
1,2,3-Benzotriazole	Aziminobenzène; benzène-azimide; benzisotriazole; 1,2,3-benzotriazole; 1 <i>H</i> -triazindène	95-14-7	
Coumarine	2 <i>H</i> -1-Benzopyran-2-one; 1,2-benzopyrone	91-64-5	
3,4,5,6-Dibenzocarbazole	3,4,5,6-Dinaphthacarbazole; 7 <i>H</i> -dibenzo(<i>c,g</i>)carbazole	194-59-2	
<i>N</i> -Ethylmorpholine	4-Ethylmorpholine	100-74-3	
2-Mercaptobenzothiazole	Benzothiazole-2-thione; 2(3 <i>H</i>)-benzothiazolethione; mercaptobenzothiazole	149-30-4	

Tableau 104.89 • Identification chimique

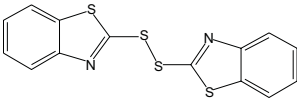
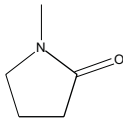
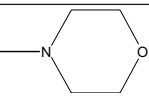
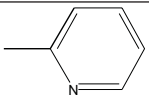
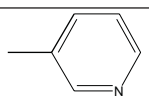
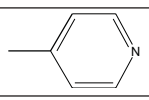
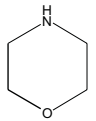
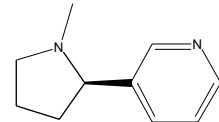

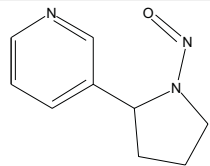
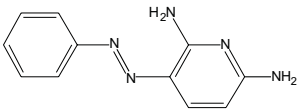
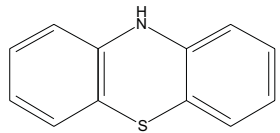
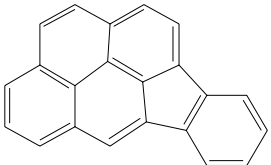
Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
2-Mercaptobenzothiazole, disulfure de	Disulfure de 2-benzothiazolyle; disulfure de benzothiazyle; disulfure de bis(benzothiazolyle); disulfure de bis(2-benzothiazyle); disulfure de dibenzothiazolyle; disulfure de dibenzothiazyle; disulfure de dibenzylthiazyle; 2,2'-dithiobis(benzothiazole); disulfure de 2-mercaptobenzothiazole; disulfure de 2-mercaptobenzothiazyle	120-78-5	
1-Méthyl-2-pyrrolidone	<i>N</i> -Méthylpyrrolidinone; <i>N</i> -méthyl-2-pyrrolidinone; 1-méthyl-5-pyrrolidinone; <i>N</i> -méthylpyrrolidone; <i>N</i> -méthyl- α -pyrrolidone; 1-méthyl-2-pyrrolidinone	872-50-4	
<i>N</i> -Méthylmorpholine	Méthylmorpholine; 4-méthylmorpholine UN2535	109-02-4	
2-Méthylpyridine	α -Méthylpyridine; 2-picoline; α -picoline	109-06-8	
3-Méthylpyridine	3-Picoline	108-99-6	
4-Méthylpyridine	γ -Picoline; 4-picoline	108-89-4	
Morpholine	Oxyde de diéthyléneimide; diéthylène oximide; tétrahydro <i>p</i> -isoxazine; tétrahydro-1,4-isoxazine; tétrahydro-1,4-oxazine; tétrahydro-2 <i>H</i> -1,4-oxazine UN2054	110-91-8	
Nicotine	1-Méthyl-2-(3-pyridyl)pyrrolidine; 3-(<i>N</i> -méthylpyrrolidino)pyridine; L-nicotine; 3-(tétrahydro-1-méthylpyrrol-2-yl)pyridine; α -pyridyl- α - <i>N</i> -méthylpyrrolidine; 1-méthyl-2-(3-pyridal)-pyrrolidine UN1654	54-11-5	
Nicotine, tartrate de	Bitartrate de nicotine; tartrate de nicotine hydrogéné UN1659	65-31-6	
<i>N</i> '-Nitrosornicotine	1'-Nitroso-1'-diméthylnicotine; 1-nitroso-2-(3-pyridyl)pyrrolidine; 3-(1-nitroso-2-pyrrolidinyl)pyridine	16543-55-8	
Phénazopyridine	2,6-Diamino-3-phénylazopyridine; 3-(phénylazo)-2,6-pyridinediamine; pyridium; pyripyridium	94-78-0	
Phénothiazine	Dibenzoparathiazine; dibenzothiazine; dibenzo-1,4-thiazine	92-84-2	
Phénylènepyrène	Indéno(1,2,3- <i>c,d</i>)pyrène; α -phénylènepyrène; 2,3- α -phénylènepyrène; 1,10-(α -phénylène)pyrène; 1,10-(1,2-phénylène)pyrène	193-39-5	

Tableau 104.89 • Identification chimique

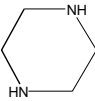

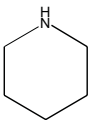
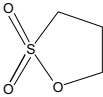
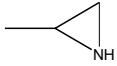
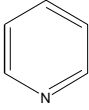
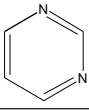
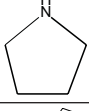
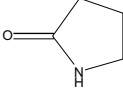
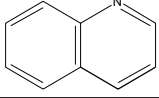
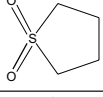


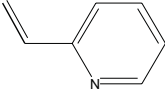
Nom chimique	Synonymes et numéro ONU	Numéro CAS	Formule développée
Pipérazine	1,4-Diéthylènediamine; hexahydro-1,4-diazine; hexahydropyrazine; pipérazidine; pipérazine anhydre; hexahydrure de pyrazine UN2579	110-85-0	
Pipérazine, dichlorhydrate de	Dichlorhydrate de diéthylènediamine; chlorhydrate de pipérazine	142-64-3	
Pipéridine	Azacyclohexane; cycloptimine; hexahydropyridine; pentaméthylénimine UN2401	110-89-4	
1,3-Propane sultone	Sulfone de l'acide 3-hydroxy-1-propanesulfonique; 2,2-dioxyde de 1,2-oxathiolane	1120-71-4	
Propylène-imine	2-Méthylazacyclopropane; 2-méthylaziridine; méthyléthylénimine; 2-méthyléthylénimine; propylénimine; 1,2-propylénimine UN1921	75-55-8	
Pyridine	UN1282	110-86-1	
Pyrimidine	1,3-Diazabenzène; m-diazine; métadiazine	289-95-2	
Pyrrolidine	Azacyclopentane; prolamine; tétrahydropyrrole; tétraméthylénimine UN1922	123-75-1	
2-Pyrrolidinone	Lactame de l'acide 4-aminobutyrique; butyrolactame; 2-oxopyrrolidine; α-pyrrolidinone; pyrrolidone; 2-pyrrolidone	616-45-5	
Quinoléine	1-Azanaphthalène; 1-benzazine; benzo(b)pyridine UN2656	91-22-5	
Sulfolane	Tétraméthylènesulfone cyclique; cyclotétraméthylènesulfone; dihydrobutadiènesulfone; sulfalane; dioxyde de tétrahydrothiophène	126-33-0	
Tétrahydrothiophène	Sulfure de tétraméthylène; thiacyclopentane; thiophane UN2412	110-01-0	
Thiophène	Sulfure de divinylène; thiacyclopentadiène; thiofurane; thiofurfurane UN2414	110-02-1	
2-Vinylpyridine		100-69-6	

Tableau 104.90 • Risques pour la santé

Nom chimique et numéro CAS	Fiches internationales de sécurité chimique (ICSC)				NIOSH	
	Exposition de courte durée	Exposition de longue durée	Voies d'exposition	Symptômes	Organes cibles et voies de pénétration	Symptômes
Acide 3,6-dichloropicolinique 1702-17-6	Yeux; voies respiratoires	Foie; reins	Inhalation	Toux, atonie		
2-Aminopyridine 504-29-0			Inhalation	Convulsions, étourdissements, céphalées, nausées, essoufflement, faiblesse, hypertension, collapsus	Système nerveux central; voies respiratoires Inhalation; absorption; ingestion; contact	Irritation des yeux, du nez et de la gorge; céphalées; étourdissements; excitation; nausées; hypertension; détresse respiratoire; faiblesse; convulsions; stupeur
2-Mercaptobenzothiazole 149-30-4	Yeux	Peau	Inhalation Peau Yeux	Toux Rougeurs Rougeur, douleurs		
2-Mercaptobenzothiazole, disulfure de 120-78-5	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau	Inhalation Peau Yeux	Toux, mal de gorge Résorption possible, rougeurs Rougeur		
1-Méthyl-2-pyrrolidone 872-50-4	Voies respiratoires; yeux	Poumons, moelle osseuse; système lymphatique	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux, respiration laborieuse Résorption possible Rougeur, douleurs, vision trouble, cécité Crampes abdominales, diarrhée, respiration laborieuse		
2-Méthylpyridine 109-06-8	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau; système nerveux central	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, étourdissements, somnolence, céphalées, respiration laborieuse, nausées, mal de gorge, perte de conscience, faiblesse Résorption possible, sécheresse, rougeurs, sensation de brûlure, douleurs, phlyctènes Douleurs, vision trouble, brûlures profondes et graves Douleurs abdominales, sensation de brûlure, diarrhée, vomissements		
3-Méthylpyridine 108-99-6	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau; système nerveux central	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, étourdissements, somnolence, céphalées, respiration laborieuse, nausées, mal de gorge, perte de conscience, faiblesse Résorption possible, sécheresse, rougeurs, sensation de brûlure, douleurs, phlyctènes Douleurs, vision trouble, brûlures profondes et graves Douleurs abdominales, sensation de brûlure, diarrhée, vomissements		
4-Méthylpyridine 108-89-4	Yeux; peau; voies respiratoires	Peau; système nerveux central	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, étourdissements, somnolence, céphalées, respiration laborieuse, nausées, mal de gorge, perte de conscience, faiblesse Résorption possible, sécheresse, rougeurs, sensation de brûlure, douleurs, phlyctènes Douleurs, vision trouble, brûlures profondes et graves Douleurs abdominales, sensation de brûlure, diarrhée, vomissements		
Morpholine 110-91-8	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons	Foie; reins	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, respiration laborieuse, essoufflement, mal de gorge Résorption possible, rougeurs, brûlures, douleurs Rougeur, douleurs, vision trouble Douleurs abdominales, toux, diarrhée, vomissements	Voies respiratoires; yeux; peau; foie; reins Inhalation; absorption; ingestion; contact	Irritation des yeux, de la peau, du nez et des voies respiratoires; troubles visuels; toux; chez l'animal: lésions hépatiques et rénales

Tableau 104.90 • Risques pour la santé

Nom chimique et numéro CAS	Fiches internationales de sécurité chimique (ICSC)				NIOSH	
	Exposition de courte durée	Exposition de longue durée	Voies d'exposition	Symptômes	Organes cibles et voies de pénétration	Symptômes
Nicotine 54-11-5			Inhalation	Douleurs abdominales, céphalées, nausées, vomissements, tremblements, convulsions	Système nerveux central; système cardio-vasculaire; voies digestives; poumons; appareil reproducteur	Nausées; salivation; douleurs abdominales; vomissements; diarrhée; céphalées; étourdissements; troubles visuels et auditifs; confusion; faiblesse; incoordination; fibrillation auriculaire paroxystique; convulsions; dyspnée; chez l'animal: effets tératogènes
Nicotine, tartrate de 65-31-6	Yeux; peau; système nerveux central		Inhalation Peau Yeux	Douleurs abdominales, céphalées, nausées, vomissements, tremblements, convulsions Résorption possible Rougeur, douleurs		
Phénothiazine 92-84-2	Yeux; peau; voies respiratoires; sang; foie	Peau	Inhalation Peau Yeux	Toux, mal de gorge Résorption possible, rougeurs, douleurs, prurit, pigmentation brun-jaune Rougeur, douleurs, vision trouble	Peau; système cardio-vasculaire; foie; reins Inhalation; absorption; ingestion; contact	Prurit; irritation et rubéfaction cutanées; hépatite; anémie hémolytique; crampes abdominales; tachycardie; lésions rénales; photophobie
Phénylène-pyrène 193-39-5			Peau	Résorption possible		
Pipéridine 110-89-4			Inhalation	Sensation de brûlure, toux, respiration laborieuse		
Propylène-imine 75-55-8	Yeux; peau; voies respiratoires; poumons; système nerveux central	Peau	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux, étourdissements, céphalées, respiration laborieuse, essoufflement, perte de conscience Résorption possible, rougeurs, brûlures, prurit, phlyctènes Rougeur, douleurs, vision trouble Sensation de brûlure au niveau des voies digestives, étourdissements, céphalées, nausées, vomissements	Yeux, peau; chez l'animal: tumeurs des fosses nasales Inhalation; absorption; ingestion; contact	Brûlures oculaires et cutanées Cancérogène professionnel potentiel
Pyridine 110-86-1	Yeux; peau; voies respiratoires; voies digestives; système nerveux central; système cardio-vasculaire	Peau; foie; reins	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Toux, étourdissements, céphalées, nausées, essoufflement, perte de conscience Résorption possible, rougeurs Rougeur, douleurs Douleurs abdominales, diarrhée, vomissements, faiblesse	Yeux; peau; système nerveux central; foie; reins; voies digestives Inhalation; absorption; ingestion; contact	Irritation des yeux; céphalées; nervosité; étourdissements; insomnie; nausées; anorexie; dermatite; lésions hépatiques et rénales
2-Pyrralidinone 616-45-5	Yeux					
Quinoléine 91-22-5	Yeux; voies respiratoires; système nerveux central	Foie; reins; rétine	Inhalation Peau Yeux	Toux, respiration laborieuse, nausées, essoufflement, vomissements, faiblesse Résorption possible, rougeurs, brûlures Rougeur, douleurs, vision trouble		
Tétrahydrothiophène 110-01-0	Yeux; peau; voies respiratoires; système nerveux central	Peau	Inhalation Peau Yeux Ingestion	Sensation de brûlure, toux, céphalées, mal de gorge Résorption possible, sécheresse, rougeurs, sensation de brûlure Rougeur, douleurs Douleurs abdominales		
Thiophène 110-02-1	Yeux; peau; voies respiratoires		Inhalation Peau Yeux	Toux, mal de gorge Résorption possible Rougeur, douleurs		

Tableau 104.91 • Risques physiques et chimiques

Nom chimique et numéro CAS	Risques physiques	Risques chimiques	Classification ONU/risques subsidiaires
Acide 3,6-dichloropicolinique 1702-17-6		Se décompose en brûlant, avec dégagement de gaz toxiques et corrosifs. Réagit avec les bases pour former des sels dont les solutions sont corrosives pour l'aluminium, le fer et l'étain	
N-Aminoéthylpipérazine 140-31-8			8
2-Aminopyridine 504-29-0	Possibilité d'explosion de poussières si sous forme de poudre ou de granulés mélangés à l'air	Se décompose en brûlant, avec dégagement de gaz et de vapeurs toxiques (oxydes d'azote). Réagit sur les oxydants énergiques avec risque d'incendie et d'explosion. Base forte soluble dans l'eau	6.1
Benzoguanamine 91-76-9			6.1
2-Mercaptobenzothiazole 149-30-4		La combustion dégage des gaz toxiques (monoxyde de carbone, composés soufrés). Se décompose par chauffage ou combustion, avec dégagement de vapeurs toxiques et irritantes (oxydes de soufre, oxydes d'azote). Réagit avec les acides ou des vapeurs d'acide en produisant des vapeurs toxiques (composés soufrés)	
2-Mercaptobenzothiazole, disulfure de 120-78-5		La combustion dégage des gaz toxiques: oxydes de carbone, de phosphore et d'azote. Réagit avec les oxydants énergiques et les acides forts	
1-Méthyl-2-pyrrolidone 872-50-4		Se décompose par chauffage au-dessus de 315 °C, avec dégagement de vapeurs toxiques. Réagit avec les acides forts. Attaque l'aluminium	
2-Méthylpyridine 109-06-8		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques (oxydes d'azote). Réagit avec les oxydants et les acides forts. Attaque le cuivre et ses alliages	3
3-Méthylpyridine 108-99-6		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques (oxydes d'azote). Réagit avec les oxydants et les acides forts	3
4-Méthylpyridine 108-89-4		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques (oxydes d'azote). Réagit avec les oxydants et les acides forts	3
Morpholine 110-91-8		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques (oxydes d'azote). Base faible. Réagit sur les oxydants énergiques avec risque d'incendie. Attaque le cuivre et ses alliages	3
Nicotine 54-11-5		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques. Réagit violemment avec les oxydants énergiques. Attaque le caoutchouc et certains plastiques	
Nicotine, tartrate de 65-31-6		Formation de composés sensibles aux chocs. Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques. Réducteur énergétique et qui réagit avec les oxydants	6.1
Phénothiazine 92-84-2		Se décompose par chauffage ou combustion, avec dégagement de vapeurs toxiques et irritantes constituées d'oxydes d'azote et de soufre	
Phénylènepyrène 193-39-5		Dégagement de vapeurs toxiques par chauffage	
Pipérazine 110-85-0			8
Pipéridine 110-89-4	Vapeur plus lourde que l'air pouvant se propager au niveau du sol; inflammation à distance possible	Se décompose par chauffage ou combustion, avec dégagement de gaz toxiques (oxydes d'azote). Base moyenne. Réagit violemment avec les oxydants	3/8
Propylène-imine 75-55-8			3
Pyridine 110-86-1	Vapeur plus lourde que l'air pouvant se propager au niveau du sol; inflammation à distance possible	La combustion dégage des vapeurs toxiques (amines). Se décompose par chauffage ou combustion, avec dégagement de vapeurs toxiques (oxydes d'azote, cyanure d'hydrogène). Réagit violemment avec les oxydants énergiques et les acides forts	3
Pyrrolidine 123-75-1			3/8
2-Pyrrolidinone 616-45-5		Se décompose par chauffage, avec dégagement de vapeurs toxiques. Réagit avec les acides forts. Attaque l'aluminium	
Quinoléine 91-22-5		Se décompose par chauffage ou combustion, avec dégagement de vapeurs toxiques d'oxydes d'azote. Réagit avec les oxydants énergiques et l'anhydride maléique	6.1