

Fluor

Fiche toxicologique n°203

Généralités

Edition _____ Juin 2023





Formule :



Substance(s)

Nom	Détails
Fluor	Famille chimique Halogènes
	Numéro CAS 7782-41-4
	Numéro CE 231-954-8
	Numéro index 009-001-00-0

Etiquette

FLUOR

Danger

- H270 - Peut provoquer ou aggraver un incendie ; comburant
- H280 - Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur
- H281 - Contient un gaz réfrigéré ; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques
- H314 - Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux
- H330 - Mortel par inhalation

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
231-954-8

Selon l'annexe VI du CLP.

ATTENTION :

- **Pour le choix des mentions de danger H280 ou H281, lorsque les gaz sont mis sur le marché, ils doivent être classés comme « gaz sous pression » dans l'un des groupes suivants : « gaz comprimé », « gaz liquéfié », « gaz liquéfié réfrigéré » ou « gaz dissous ». L'affectation dans un groupe dépend de l'état physique dans lequel le gaz est conditionné et, par conséquent, doit s'effectuer au cas par cas.**
- **Pour les mentions de danger H280, H281, H330, se reporter à la section "Réglementation".**

Caractéristiques

Utilisations

[1]

Le fluor est utilisé dans les applications suivantes :

- industrie chimique : agent de synthèses organiques et minérales, notamment pour les adhésifs et revêtements, et dans la fabrication de composés fluorés et de fluorocarbures ;
- industrie nucléaire : préparation de l'hexafluorure d'uranium ;
- recherche spatiale : agent comburant pour la propulsion des fusées.

Propriétés physiques

[1 à 4]

Dans les conditions normales de température et de pression, le fluor est un gaz plus lourd que l'air, de couleur jaunâtre presque incolore. Il possède une odeur caractéristique et repoussante, facilement détectable à des concentrations de l'ordre de 0,02 ppm.

Nom Substance	Détails	
Fluor	N° CAS	7782-41-4
	Etat Physique	Gaz
	Masse molaire	38
	Point de fusion	-219,6 °C
	Point d'ébullition	-188,2 °C
	Densité	1,5 (au point d'ébullition)
	Densité gaz / vapeur	1,3 (au point d'ébullition)
	Point critique	-128,9°C à 52,15 bar

À 25 °C et 101,3 kPa, 1 ppm = 1,58 mg/m³.

Propriétés chimiques

[1 à 4]

Le fluor est le plus électronégatif des éléments. Il réagit avec la plupart des substances minérales et organiques et même dans certaines conditions avec les gaz nobles. Le fluor peut se combiner avec tous les éléments excepté l'hélium, le néon et l'argon. Les chaleurs de réaction sont toujours élevées et de nombreuses réactions ont lieu avec inflammation ou explosion, en particulier avec les composés organiques, les composés hydrogénés, les alcènes et les produits halogénés.

Le fluor réagit de façon explosive avec l'eau, en donnant principalement un mélange de fluorures d'oxygène et d'hydrogène (OF₂ et HF).

L'oxygène et l'azote ne réagissent pas directement avec le fluor, sauf en présence d'une décharge électrique.

Avec l'hydrogène, la réaction est extrêmement violente et produit une explosion à température ambiante.

Les métaux sont presque tous attaqués et portés à incandescence par le fluor. Avec le fluor gazeux, ils sont attaqués lentement à température ambiante : certains métaux, comme l'aluminium, le cuivre, le fer, le nickel, se recouvrent d'une couche de fluorure qui les protège d'une attaque profonde. À chaud, la réaction est plus violente. La présence d'impuretés ou de souillures peut faciliter la fluoration et amorcer la combustion vive du métal au contact du fluor. L'acier, soigneusement dégraissé, résiste bien au fluor pur sous pression, mais à température inférieure à 100 °C. Le Monel (alliage de nickel et de cuivre) et le nickel sont les matériaux les mieux adaptés à température élevée. Le fluor liquide n'a pas d'action sur la plupart des métaux.

Parmi les matières plastiques, seules les résines fluorées comme le polytétrafluoroéthylène et le polytrifluorochloroéthylène résistent bien au fluor à pression ambiante et à température ambiante ou modérée.

VLEP et mesurages

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail ont été établies pour le fluor.

Substance	Pays	VLEP 8h (ppm)	VLEP 8h (mg/m ³)	VLEP CT (ppm)	VLEP CT (mg/m ³)
Fluor	France (VLEP réglementaire indicative 2004)	1	1,58	2	3,16
Fluor	Union Européenne (2000)	1	1,58	2	3,16
Fluor	Etats-Unis (ACGIH - 2019)	0,1	0,16	0,5	0,78

Méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle

[5 à 8]

Le fluorure est la forme anionique de l'élément fluor, l'halogène le plus électronégatif et le plus réactif, c'est pourquoi il n'est pas retrouvé dans la nature sous sa forme élémentaire. Les méthodes décrites ci-dessous consistent à prélever et doser les fluorures sous ses différentes formes.

- Prélèvement par pompage de l'air au travers d'une cassette contenant une membrane (MCE ou PVC) qui retient les composés particulaires fluorés et un support de collecte imprégné avec Na_2CO_3 pour les fluorures gazeux (HF) [5, 8]. La membrane est traitée par fusion alcaline, neutralisée avec de l'acide chlorhydrique et diluée à l'eau ultra-pure. Le support imprégné est désorbé avec de l'eau ultra-pure. Les analyses sont réalisées par électrode spécifique [5, 6] ou chromatographie ionique [7, 8].
- Des détecteurs de gaz ou des appareils instantanés équipés de tubes de réactifs (type Draeger Fluor 0,1/a ou Gastec Fluorure d'hydrogène n°17) peuvent être utilisés pour des mesures ponctuelles.

Incendie - Explosion

[1, 2]

Le fluor est un gaz non inflammable mais possédant un pouvoir comburant très puissant. Il peut ainsi favoriser ou provoquer des incendies ou des réactions violentes voire explosives avec de très nombreux produits, organiques ou minéraux (voir "propriétés chimiques").

En cas d'incendie, choisir l'agent d'extinction en fonction des autres produits/matériaux impliqués. Si possible, déplacer les bouteilles de fluor exposées au feu. Sinon, dans le cas où ils ne présentent pas de fuite, protéger les récipients du rayonnement thermique de l'incendie à l'aide de dispositifs appropriés (queues de paon, rideaux d'eau...), éviter de les refroidir directement et abondamment avec de l'eau. En cas de fuite ou de suspicion de fuite, proscrire l'utilisation de l'eau pouvant provoquer des réactions violentes et la formation de produits très toxiques (voir "propriétés chimiques").

En raison de la toxicité du fluor et des émissions lors de sa réaction avec de nombreux produits, les personnes chargées de la lutte contre l'incendie seront équipées d'appareils de protection respiratoire autonomes isolants et de combinaisons de protection.

Pathologie - Toxicologie

Cette fiche concerne le fluor : pour connaître les effets liés aux ions fluorures, se référer à la fiche toxicologique 191.

Toxicocinétique - Métabolisme

[9, 10]

Du fait de sa réactivité importante, le fluor est rapidement converti en ions fluorures au contact des muqueuses. Ces ions sont stockés dans les os et les dents, avant d'être excrétés dans les urines.

Chez l'animal

Absorption

Même si aucune donnée quantitative n'est disponible, les effets systémiques observés suite à des expositions aiguës et subchroniques traduisent son absorption. Au contact des muqueuses respiratoires, il y a formation de fluorure d'hydrogène et passage dans l'organisme sous forme d'ions fluorures.

Distribution

Les ions fluorures sont rapidement distribués et stockés dans les os et les dents, où ils se substituent aux groupements hydroxyles de l'hydroxyapatite, principal constituant minéral. Des niveaux élevés de fluorures ont été mesurés dans les dents et les os de rats exposés à 39 ppm de fluor (5 h/j, 6 j/sem pendant 21 jours) [11].

Excrétion

Les ions fluorures sont rapidement éliminés dans les urines : chez le chien et le lapin, leur niveau urinaire augmente suite à une exposition par voie inhalatoire de 1,2 ppm (5-6 h/j, 6 j/sem, pendant 35 jours) [11].

Chez l'homme

Très peu de données sont disponibles chez l'Homme. Les ions fluor sont transportés par le sang (75 % dans le plasma et 25 % fixés aux globules rouges) et traversent la barrière placentaire.

Comme chez l'animal, le fluor non stocké dans les tissus osseux est éliminé dans les urines et la salive ; de faibles quantités sont retrouvées dans le lait maternel et la sueur. Les demi-vies d'élimination des fluorures sont de 2 à 9 heures dans le plasma, de 8 à 20 ans dans les os [12].

Surveillance biologique de l'exposition

Le dosage des fluorures urinaires peut être utile pour la surveillance biologique des travailleurs exposés au fluor. Le prélèvement fait avant le poste en début de semaine (au mieux après 2 jours sans exposition) est le témoin de la charge corporelle et de l'exposition à long terme ; il est très influencé par l'exposition environnementale. Le prélèvement en fin de poste reflète l'exposition plus récente, notamment celle du poste qui a précédé.

Il existe des valeurs biologiques d'interprétation (VBI) issues de la population générale, ainsi que des VBI professionnelles, basés sur une relation avec des effets sanitaires (fluorose), proposées par plusieurs organismes [34].

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

[11-13]

Le fluor présente une toxicité aiguë élevée : les principaux organes cibles sont les poumons, le foie et les reins . Le fluor est corrosif pour la peau, les muqueuses et les yeux.

Les CL₅₀ déterminées sur plusieurs espèces animales (rat, souris, lapin, cochon d'Inde) sont du même ordre de grandeur : 700 ppm pour 5 minutes d'exposition, 390 ppm pour 15 minutes, 270 ppm pour 30 minutes et 185 ppm pour 1 heure.

Immédiatement après une exposition au niveau de la CL₅₀, les signes constatés sont essentiellement des phénomènes d'irritation des yeux et des muqueuses des voies aériennes ; quelques heures après, les animaux présentent une faiblesse générale et une dyspnée et sont léthargiques. Les morts surviennent 12 à 18 heures après l'exposition mais ne se produisent plus après 48 heures. Elles sont en général consécutives à un œdème pulmonaire.

Une exposition à une dose équivalant à 50 % de la CL₅₀ provoque des signes importants d'irritation respiratoire pour une durée d'expérimentation allant jusqu'à 1 heure. Les signes sont plus modérés pour 25 % de la CL₅₀ et n'apparaissent plus aux concentrations inférieures.

Les examens des organes révèlent essentiellement des lésions pulmonaires hémorragiques d'apparition rapide et des anomalies hémorragiques ou nécrotiques du foie et des reins se manifestant 7 à 14 jours après l'exposition [11].

Une exposition à 100 ppm pendant 15 minutes ou 45 ppm pendant 1 heure ne provoque pas de lésion ou d'anomalie apparente.

Irritation, sensibilisation

Le fluor est corrosif pour la peau et les yeux.

L'application brève (0,2 à 0,6 s) d'un jet de fluor sous pression sur la peau du lapin entraîne une lésion ischémique superficielle guérissant facilement. Si l'on prolonge la durée d'exposition, il se produit une inflammation du gaz qui provoque des brûlures thermiques analogues aux lésions par chalumeau oxy-acétylénique.

Au niveau oculaire, une irritation marquée est rapportée chez des rats exposés à 500 ppm pendant 5 minutes, 195 ppm pendant 15 minutes ou 140 ppm pendant 30 minutes [14].

Toxicité subchronique, chronique

[11]

Les effets chroniques du fluor, très peu documentés, sont principalement respiratoires et leur sévérité varie selon les espèces.

Les études subchroniques menées chez des rongeurs ont mis en évidence des différences de sensibilité concernant les atteintes respiratoires. Ainsi, suite à une exposition à 2 ppm de fluor (6 h/j, 6 j/sem pendant 5 semaines), aucun effet n'est observé chez le rat ; les chiens présentaient des hémorragies et des œdèmes pulmonaires alors que les lapins ne développaient qu'une inflammation modérée des bronches. Chez le rat, les effets respiratoires (irritation pulmonaire sévère) n'apparaissent qu'à partir de 18 ppm. A cette dose, une légère fluorose dentaire apparaît aussi.

Effets génotoxiques

Aucune donnée n'est disponible chez l'animal à la date de publication de cette fiche toxicologique, concernant le fluor.

Effets cancérogènes

Aucune donnée n'est disponible chez l'animal à la date de publication de cette fiche toxicologique, concernant le fluor.

Toxicité sur l'Homme

Le fluor est un gaz extrêmement irritant, voire corrosif, pour les muqueuses respiratoire et oculaire et pour la peau. L'inhalation accidentelle peut conduire au développement, parfois retardé, d'un œdème pulmonaire lésionnel potentiellement mortel. Aucune donnée de qualité n'est disponible chez l'Homme pour les effets à long terme, notamment sur d'éventuels effets génotoxiques, cancérogènes, ou toxiques pour la reproduction.

Toxicité aiguë

[15 à 17]

Le fluor est à l'origine d'une irritation, voire d'une corrosion, des muqueuses respiratoire et oculaire, ainsi que de la peau, dont la sévérité est fonction de la concentration du gaz et de la durée de l'exposition.

L'exposition à des doses élevées peut entraîner un œdème aigu du poumon lésionnel d'installation souvent retardée.

Chez des volontaires sains, l'exposition de quelques minutes à 10 ppm a été bien tolérée, l'irritation oculaire se manifestant dès 15 - 25 ppm et l'irritation respiratoire dès 15 - 50 ppm, selon les études [13]. À des concentrations plus importantes (67 - 100 ppm), les symptômes étaient considérés très inconfortables après quelques secondes seulement [14]. L'exposition intermittente à 10 ppm pendant 2 à 3 heures a entraîné une légère irritation cutanée et oculaire [14].

Sur la peau, le fluor sous la forme de gaz liquéfié, peut provoquer de graves brûlures, ainsi que des gelures.

La projection du gaz sur l'œil est susceptible d'entraîner des lésions très importantes [18].

L'ingestion de petites quantités de fluorure d'hydrogène secondaire à l'hydrolyse du gaz fluor au contact de la salive peut entraîner une irritation des muqueuses digestives [2].

Même si aucun cas d'intoxication systémique n'est documenté après une exposition aiguë au fluor, il faut considérer la possibilité d'effets toxiques en rapport avec le fluorure d'hydrogène issu de l'hydrolyse du gaz fluor en milieu humide (notamment au niveau des muqueuses digestives et respiratoires) et de l'absorption d'ions fluor (risque d'hypocalcémie et d'hypomagnésémie).

Toxicité chronique

Les principaux effets attendus d'une exposition chronique au fluor gazeux sont des troubles respiratoires liés à l'irritation chronique des voies aériennes, mais peu de données sont disponibles.

Une étude réalisée dans une usine de production d'hexafluorure d'uranium chez 61 salariés exposés de façon intermittente au fluor entre 1952 et 1959 (exposition moyenne annuelle de 0,3 à 1,4 ppm avec des pics de 3,8 à 24,7 ppm) a montré que le nombre de visites médicales et le taux d'absence, toutes causes ou dues à des plaintes respiratoires, n'étaient pas supérieurs à ceux des témoins non exposés [19]. Néanmoins, le manque de données d'exposition fiables (l'odeur était utilisée pour distinguer le F₂ du HF), l'exposition des deux groupes à plusieurs fluorures, le choix des critères de jugement assez imprécis, avec prise en compte des causes non professionnelles, la méthode d'échantillonnage et l'absence d'analyses statistiques doivent conduire à considérer cette étude avec précaution.

Une étude réalisée dans une usine d'émail chez 75 salariés exposés au fluor entre 1995 et 2001 (concentrations atmosphériques comprises entre 0,06 à 2,3 ppm ; chacun apparié à un témoin non exposé) a cherché à évaluer leur fonction respiratoire et plaintes associées [20]. Des signes et symptômes d'irritation étaient présents, principalement respiratoires, et dans une moindre mesure oculaires et cutanés. Les incidences de bronchite et rhinite chroniques étaient statistiquement significativement plus importantes chez les travailleurs exposés et directement proportionnelles à la concentration atmosphérique de fluor. La consommation de tabac était similaire dans les deux groupes. Des cas de fluorose squelettique et, plus rarement, dentaire ont par ailleurs été constatés.

Effets génotoxiques

Aucune étude de génotoxicité chez des travailleurs exposés au gaz fluor n'a été identifiée à la date de publication de cette fiche.

Effets cancérogènes

Aucune étude évaluant les potentiels effets cancérogènes du gaz fluor chez des travailleurs exposés n'a été identifiée à la date de publication de cette fiche.

Effets sur la reproduction

Aucune étude évaluant les potentiels effets sur la reproduction du gaz fluor chez des travailleurs exposés n'a été identifiée à la date de publication de cette fiche.

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : juin 2023.

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale. Les rubriques "Protection de la population", "Protection de l'environnement" et "Transport" ne sont que très partiellement renseignées.

Sécurité et santé au travail

Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)

- Articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail.
- Circulaire DRT du ministère du travail n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4412-150 du Code du travail et arrêté du 30 juin 2004 établissant la liste des VLEP indicatives (JO du 11 juillet 2004).

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Européennes)

- Directive 2000/39/CE de la Commission du 8 juin 2000 (JOCE du 16 juin 2000).

Maladies à caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableau n° 32.

Travaux interdits

- Jeunes travailleurs de moins de 18 ans : article D. 4153-17 du Code du travail. Des dérogations sont possibles sous conditions : articles R. 4153-38 à R. 4153-49 du Code du travail.
- Salariés sous contrat de travail à durée déterminée et salariés temporaires : articles D. 4154-1 à D. 4154-4, R. 4154-5 et D. 4154-6 du Code du travail.

Entreprises extérieures

- Article R. 4512-7 du Code du travail et arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

Classification et étiquetage

a) *substance* fluor

Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (JOU E L 353 du 31 décembre 2008)) introduit dans l'Union européenne le système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage du fluor figurent dans l'annexe VI du règlement CLP. La classification est :

- Gaz sous pression (comprimé ou liquéfié ou dissous ou liquéfié réfrigéré) ; H280 ou H281 (*lorsque les gaz sont mis sur le marché, ils doivent être classés comme « gaz sous pression » dans l'un des groupes suivants : « gaz comprimé », « gaz liquéfié », « gaz liquéfié réfrigéré » ou « gaz dissous ». L'affectation dans un groupe dépend de l'état physique dans lequel le gaz est conditionné et, par conséquent, doit s'effectuer au cas par cas ; le metteur sur le marché choisira alors l'une ou l'autre de ces mentions.*)
- Gaz comburants, catégorie 1 ; H270
- Corrosion, catégorie 1A ; H314
- Toxicité aiguë (par inhalation), catégorie 2 ; H330*

(*) Cette classification est considérée comme une classification minimale. La classification dans une catégorie plus sévère doit être appliquée si des données accessibles le justifient. Par ailleurs, il est possible d'affiner la classification minimum sur la base du tableau de conversion présenté en Annexe VII du règlement CLP quand l'état physique de la substance utilisée dans l'essai de toxicité aiguë par inhalation est connu. Dans ce cas, cette classification doit remplacer la classification minimale.

b) *mélanges* contenant du fluor

- Règlement (CE) n° 1272/2008 modifié.

Protection de la population

Se reporter aux règlements modifiés (CE) 1907/2006 (REACH) et (CE) 1272/2008 (CLP). Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé de la santé.

Protection de l'environnement

Installations classées pour la protection de l'environnement : les installations ayant des activités, ou utilisant des substances, présentant un risque pour l'environnement peuvent être soumises au régime ICPE.

Pour consulter des informations thématiques sur les installations classées, veuillez consulter le site (<https://aida.ineris.fr>) ou le ministère chargé de l'environnement et ses services (DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) ou les CCI (Chambres de Commerce et d'Industrie)).

Transport

Se reporter entre autres à l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (dit " Accord ADR ") en vigueur (<https://unece.org/fr/about-adr>). Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé du transport.

Recommandations

En raison de la toxicité et de la très grande réactivité du fluor, des mesures très strictes de prévention et de protection s'imposent lors du stockage et de la manipulation de ce produit.

Au point de vue technique

Information et formation des travailleurs

- **Instruire le personnel** des risques présentés par la substance, des précautions à observer, des mesures d'hygiène à mettre en place ainsi que des mesures d'urgence à prendre en cas d'accident.
- **Former les opérateurs** à la manipulation des moyens d'extinction (extincteurs, robinet d'incendie armé...).
- Observer une **hygiène corporelle et vestimentaire** très stricte : lavage soigneux des mains (savon et eau) après manipulation et changement de vêtements de travail. Ces vêtements de travail sont fournis gratuitement, nettoyés et remplacés si besoin par l'entreprise. Ceux-ci sont rangés séparément des vêtements de ville. En aucun cas les salariés ne doivent quitter l'établissement avec leurs vêtements et leurs chaussures de travail.
- Ne pas **fumer, vapoter, boire** ou **manger** sur les lieux de travail.

Manipulation

- **Réduire** le nombre de **contenants** (bouteilles notamment) au minimum nécessaire permettant d'assurer le bon fonctionnement du poste de travail.
- **Réduire** le nombre de **personnes exposées** au fluor.
- **Éviter tout contact** de produit avec la **peau** et les **yeux**. **Éviter l'inhalation** de gaz. Effectuer en **système clos** toute opération industrielle qui s'y prête. Dans tous les cas, prévoir une **aspiration** du gaz à la source d'émission, ainsi qu'une **ventilation** des lieux de travail conformément à la réglementation en vigueur [21].
- Le **flexible** utilisé pour raccorder le contenant doit être adapté au fluor, à la pression et comporter des câbles de retenues correctement fixés. Utiliser des équipements dont les matériaux sont compatibles et résistants au fluor.
- Éviter tout rejet atmosphérique de fluor.
- Manipuler les contenants avec soin pour prévenir les chocs.
- Utiliser les bouteilles **debout et attachées** afin d'éviter leur chute.
- Fermer le robinet du contenant à chaque arrêt prolongé du poste (un flexible n'est pas conçu pour rester de manière prolongée sous pression).
- Lors des déplacements de contenants, privilégier un **dispositif de transport approprié** (type chariot porte-bouteille) muni d'un système d'attache. Le robinet doit être fermé et surmonté de son chapeau de protection s'il existe.
- Évaluer **régulièrement** l'exposition des salariés au fluor présent dans l'air (§ Méthodes de l'évaluation de l'exposition professionnelle).

- Procéder à un contrôle fréquent et régulier de la teneur de l'atmosphère en fluor ou mieux, à un contrôle permanent complété par un système d'alarme automatique.
- N'utiliser que des installations technologiquement adaptées, exemptes de matériaux susceptibles de donner lieu à une réaction avec le fluor.
- **Protéger** les contenants du soleil et des sources de chaleur.
- Ne jamais transvaser de fluor d'un contenant à un autre.
- Au besoin, les espaces dans lesquels le fluor est stocké et/ou manipulé doivent faire l'objet d'une **signalisation** [22].
- Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu du fluor sans prendre les précautions d'usage [23].

Équipements de Protection Individuelle (EPI)

Leur choix dépend des conditions de travail et de l'évaluation des risques professionnels.

Une attention particulière sera apportée lors du **retrait des équipements** afin d'éviter toute contamination involontaire. Ces équipements seront éliminés en tant que déchets dangereux [24 à 27].

- Appareils de protection respiratoire : si un appareil filtrant peut être utilisé, il doit être muni d'un filtre de type B lors de la manipulation de la substance [28].
- Gants : la rubrique 8 « Contrôles de l'exposition / protection individuelle » de la FDS peut renseigner quant à la nature des matériaux pouvant être utilisés pour la manipulation de cette substance. Certains matériaux sont à éviter : caoutchoucs naturel, butyle, néoprène, nitrile et le polychlorure de vinyle [29].
- Vêtements de protection : quand leur utilisation est nécessaire (en complément du vêtement de travail), leur choix dépend de l'**état physique** de la substance. **Seul le fabricant du vêtement** peut confirmer la protection effective d'un vêtement contre les dangers présentés par la substance. Dans le cas de vêtements réutilisables, il convient de **se conformer strictement à la notice du fabricant** [30].
- Lunettes de sécurité : la rubrique 8 « Contrôles de l'exposition / protection individuelle » de la FDS peut renseigner quant à la nature des protections oculaires pouvant être utilisées lors de la manipulation de la substance [31].

Stockage

- Stocker les contenants (bouteilles) de fluor **debout et attachés**, dans des locaux frais et sous ventilation mécanique permanente. Tenir à l'écart de la chaleur, des surfaces chaudes, de toute source d'inflammation (étincelles, flammes nues, rayons solaires...) supérieures à 50°C. Dans tous les cas, il conviendra de se conformer aux préconisations du fabricant.
- Le stockage du fluor s'effectue habituellement sous forme de gaz comprimé ; l'ogive de la bouteille est de couleur jaune [32]. Il se peut que le fluor soit également disponible sous forme de gaz liquéfié. Dans tous les cas, il convient de s'assurer auprès du fournisseur de la substance ou du matériau de stockage de la **bonne compatibilité** entre le matériau envisagé et la substance stockée.
- Les contenants vides doivent être identifiés et stockés séparément. Ils doivent être évacués régulièrement par le fournisseur.
- **Fermer soigneusement** les contenants et ne pas laisser les flexibles sous pression. Surmonter le **robinet** de son chapeau de protection s'il existe.
- L'installation électrique sera conçue avec un équipement anticorrosion et un contrôle très régulier de celle-ci sera fait.
- Mettre à disposition dans ou à proximité immédiate du local/zone de stockage des moyens d'extinction adaptés à l'ensemble des produits stockés.
- **Séparer** le fluor des produits combustibles ou inflammables. Si possible, le stocker **à l'écart** des autres produits chimiques dangereux.

Déchets

- Dans tous les cas, traiter les déchets, résidus ou bouteilles endommagées dans les conditions autorisées par la réglementation.

En cas d'urgence

- En cas de **fuite**, fermer l'arrivée du gaz tout en se protégeant des émissions très toxiques (appareils de protection respiratoire adaptés ou isolants autonomes). Dans tous les cas, aérer la zone et évacuer le personnel.
- Si des bouteilles de fluor sont **exposées à un incendie** (sans que le fluor ne brûle lui-même), refroidir les contenants à l'aide d'eau pulvérisée depuis une zone protégée.
- En cas d'**échauffement** apparent d'une bouteille, ne pas s'en approcher et arroser abondamment la bouteille avec de l'eau pulvérisée depuis une zone protégée.
- Prévoir des moyens de secours appropriés contre l'incendie, à proximité immédiate du dépôt. Des appareils de protection respiratoire isolants autonomes sont à prévoir à proximité et à l'extérieur des locaux pour les interventions d'urgence.
- Prévoir l'installation de **rince-oeil** et de **douches de sécurité**, notamment compte tenu du risque de brûlures par le fluor sous forme liquéfiée (voir "Toxicité aiguë") [33].
- Si ces mesures ne peuvent pas être réalisées sans risque de sur-accident ou si elles ne sont pas suffisantes, contacter les équipes de secours interne ou externe au site.

Au point de vue médical

Lors des visites initiale et périodiques

- Rechercher particulièrement lors de l'interrogatoire et l'examen clinique, des antécédents de pathologies respiratoires, cutanées, ostéoarticulaires et rénales chroniques, des symptômes et signes d'irritation des muqueuses et de la peau, ainsi que des symptômes évocateurs de troubles respiratoires chroniques.
- L'examen clinique pourra être complété par la réalisation d'explorations fonctionnelles respiratoires (EFR), qui serviront de référence. La périodicité des examens médicaux et la nécessité ou non d'effectuer des examens complémentaires (EFR, bilan sanguin hépatique, rénal, biochimie, imagerie squelettique, biométrie) seront déterminées par le médecin du travail en fonction des données de l'examen clinique et de l'appréciation de l'importance de l'exposition.
- Déconseiller le port de lentilles de contact souples hydrophiles lors de travaux pouvant potentiellement exposer au gaz fluor.

Surveillance biologique de l'exposition

- Le dosage des fluorures urinaires, prélèvement en fin de poste pouvant être associé à un prélèvement avant le poste en début de semaine, peut être utile pour la surveillance biologique des travailleurs exposés au fluor. Il existe des valeurs biologiques d'interprétation (VBI) issues de la population générale, ainsi que des VBI professionnelles, basés sur une relation avec des effets sanitaires (fluorose), proposées par plusieurs organismes [34].

Conduites à tenir en cas d'urgence

- En cas de contact cutané**, appeler immédiatement un SAMU, faire transférer la victime par ambulance médicalisée en milieu hospitalier dans les plus brefs délais en raison du risque d'intoxication systémique et après une première décontamination sur place. Retirer les vêtements souillés (avec des gants adaptés) et laver la peau immédiatement et abondamment à grande eau pendant au moins 15 minutes.
 - En cas d'exposition au fluor sous forme de gaz liquéfié et de brûlure par le froid, ne pas frotter ; si les vêtements adhèrent à la peau, rincer la zone à l'eau à température ambiante avant de les retirer. Appliquer immédiatement un gel de calcium ou des compresses imbibées de gluconate de calcium.
 - Si la victime est inconsciente, la placer en position latérale de sécurité et mettre en œuvre, s'il y a lieu, des manœuvres de réanimation.
- En cas de contact oculaire**, appeler immédiatement un SAMU. Rincer immédiatement et abondamment les yeux à l'eau courante pendant au moins 15 minutes, paupières bien écartées. En cas de port de lentilles de contact, les retirer avant le rinçage.
 - En cas d'exposition au fluor sous forme de gaz liquéfié et de brûlure par le froid, ne pas chercher à écarter les paupières, ne pas chercher à retirer les lentilles. Réchauffer très progressivement en rinçant la zone contaminée avec de l'eau à température ambiante pendant au moins 15 minutes. Le risque d'intoxication systémique impose de consulter un médecin aussitôt après une première décontamination sur place. Dans tous les cas consulter un ophtalmologiste, et le cas échéant signaler le port de lentilles.
- En cas d'inhalation**, appeler immédiatement un SAMU, faire transférer la victime par ambulance médicalisée en milieu hospitalier dans les plus brefs délais. Transporter la victime en dehors de la zone polluée en prenant les précautions nécessaires pour les sauveteurs.
 - Si la victime est inconsciente, la placer en position latérale de sécurité et mettre en œuvre, s'il y a lieu, des manœuvres de réanimation.
 - Si la victime est consciente, la maintenir au maximum au repos. Si nécessaire, retirer les vêtements souillés (avec des gants adaptés) et commencer une décontamination cutanée et oculaire (laver immédiatement et abondamment à grande eau pendant au moins 15 minutes). Appliquer immédiatement sur les zones de peau concernées un gel de calcium ou des compresses imbibées de gluconate de calcium. Prévenir du risque de survenue d'un œdème pulmonaire lésionnel dans les 48 heures suivant l'exposition.

Bibliographie

- Fluorine. In : ChemIDPlus. US NLM, 2023 (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).
- Fluorine. In : Gestis Substance Database on hazardous substance. IFA (<https://gestis-database.dguv.de/>).
- Code of practice compressed fluorine and mixture with inert gases. Doc 140/18. EIGA (<https://www.eiga.eu/>).
- Réactions chimiques dangereuses. Base de données. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- Fluoride (F - & HF) in workplace atmospheres. Method id110. In : Sampling and Analytical Methods. OSHA, 2002 (<https://www.osha.gov/chemicaldata/sampling-analytical-methods>).
- Fluorides, aerosol and gas by ISE. Méthode 7902. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4 éd. NIOSH, 1994 (<https://www.cdc.gov/niosh/nmam/>).
- Acide fluorhydrique et composés particulaires fluorés M-113. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2016 (<https://www.inrs.fr/metropol/>).
- Particulate fluorides and hydrofluoric acid. Méthode 7906. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5 éd. NIOSH, 2014 (<https://www.cdc.gov/niosh/nmam/>).
- Fluorine. Registration dossier. ECHA, 2018.
- Bédry R – Fluor et fluorures minéraux : toxicité générale et industrielle. *EMC – Pathologie professionnelle et de l'environnement*. 2019 ; 14 (2) : 9 p.
- Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine. Toxicological Profiles. ATSDR, 2003.
- Fluorine and Fluorides. Environmental Health Criteria Monographs, EHC 36. IPCS Inchem, 1984 (<https://www.inchem.org/#/search>).
- Fluorine. Acute exposure guideline levels (AEGs) values. Volume 8. Environmental Protection Agency (US EPA), 2010 (https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/fluorine_final_volume8_0.pdf).
- Keplinger ML et Suissa LW – Toxicity of fluorine short-term inhalation. *Am Ind Hyg Assoc*. 1968 ; 29 (1) : 10-18.
- Testud F – Toxicologie médicale professionnelle et environnementale. Editions ESKA Paris (2018).
- Bingham E, Corhssen B (Eds) – Patty's toxicology. 6th edition. Volume 1-6. Oxford : John Wiley and Sons ; 2012.
- Fluorine. Fiche IPCS. ICSC 0046. International Labour Organization (ILO), 2001(https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=fr).
- Morton Grant WM – Toxicology of the eye. Third edition. Springfield : Charles C. Thomas Publisher ; 1986 : 1083 p.
- Lyon JS – Observations on personnel working with fluorine at a gaseous diffusion plant. *J Occup Med*. 1962 Apr ; 4 : 199-201.
- Viragh E, Viragh H, Laczka J, Coldea V – Health effects of occupational exposure to fluorine and its compounds in a small-scale enterprise. *Ind Health*. 2006 Jan ;44(1) :64-8.
- Principes généraux de ventilation. Guide pratique de ventilation ED 695. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- Signalisation de santé et de sécurité au travail - Réglementation. Brochure ED 6293. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- Cuves et réservoirs. Interventions à l'extérieur ou à l'intérieur des équipements fixes utilisés pour contenir ou véhiculer des produits gazeux, liquides ou solides. Recommandation CNAM R 435. Assurance Maladie, 2008 (https://www.ameli.fr/val-de-marne/entreprise/tableau_recommandations).
- Risques chimiques ou biologiques. Retirer sa tenue de protection en toute sécurité. Cas n°1 : Décontamination sous la douche. Dépliant ED 6165. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- Risques chimiques ou biologiques. Retirer sa tenue de protection en toute sécurité. Cas n°3 : Sans décontamination de la tenue. Dépliant ED 6167. INRS (<https://www.inrs.fr/>).

- 26 | Risques chimiques ou biologiques. Retirer ses gants en toute sécurité. Gants à usage unique. Dépliant ED 6168. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 27 | Risques chimiques ou biologiques. Retirer ses gants en toute sécurité. Gants réutilisables. Dépliant ED 6169. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 28 | Les appareils de protection respiratoire - Choix et utilisation. Brochure ED 6106. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 29 | Forsberg K, Den Borre AV, Henry III N, Zeigler JP – Quick selection guide to chemical protective clothing. 7th ed. Hoboken : John Wiley & Sons ; 293 p.
- 30 | Quels vêtements de protection contre les risques chimiques. Fiche pratique de sécurité ED 127. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 31 | Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage - Choix et utilisation. Brochure ED 798. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 32 | Les bouteilles de gaz : identification, prévention lors du stockage et de l'utilisation. Brochure ED 6369. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 33 | Equipements de premiers secours en entreprise : douches de sécurité et lave-œil. Fiche pratique de sécurité ED 151. INRS (<https://www.inrs.fr>).
- 34 | Fluorures inorganiques et fluor. In : BIOTOX. INRS, 2021 (<https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>).

Historique des révisions

1 ^{re} édition	1984
2 ^e édition (mise à jour partielle)	2008
3 ^e édition (mise à jour complète)	Juin 2023