Acide borique - Tétraborates de disodium

Fiche toxicologique n°138

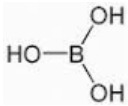
Fiche

Généralités

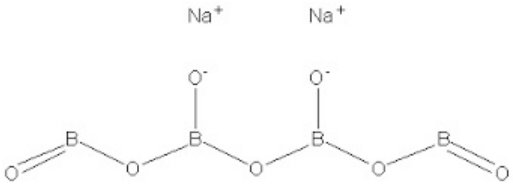
Edition Mars 2022

Formule :

Acide borique



Tétraborate de disodium



Substance(s)

Nom	Détails	
Acide borique	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**10043-35-3**
	Numéro CE	**233-139-2**
	Numéro index	**005-007-00-2**
	Synonymes	**Acide orthoborique**
Acide borique naturel ne renfermant pas plus de 85 % de H_3BO_3 calculé sur le poids sec	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**11113-50-1**
	Numéro CE	**234-343-4**
	Numéro index	**005-007-00-2**
	Synonymes	**Acide orthoborique**
Tétraborate de disodium, anhydre	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**1330-43-4**
	Numéro CE	**215-540-4**
	Numéro index	**005-011-00-4**
	Synonymes	**Borax, anhydre**
Heptaoxyde de tétrabore et de disodium, hydrate	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**12267-73-1**
	Numéro CE	**235-541-3**
	Numéro index	**005-011-00-4**
	Synonymes	**Borax, hydrate**
Tétraborate de disodium, pentahydrate	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**12179-04-3**
	Numéro CE	**215-540-4**
	Numéro index	**005-011-00-4**
	Synonymes	**Borax, pentahydrate**

Tétraborate de disodium, décahydrate	Famille chimique	**Composés inorganiques du bore**
	Numéro CAS	**1303-96-4**
	Numéro CE	**215-540-4**
	Numéro index	**005-011-00-4**
	Synonymes	**Borax, décahydrate**

Etiquette

ACIDE BORIQUE

Danger

- H360FD - Peut nuire à la fertilité. Peut nuire au développement.

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du réglement CE n° 1272/2008.

233-139-2

Noms chimiques - numéros Index	Etiquetage selon le règlement CLP (CE n° 1272/2008)
TETRABORATE DE DISODIUM 005-011-00-4	Danger H360FD

Selon l'annexe VI du règlement CLP

Le nom "Borax" est habituellement réservé au tétraborate de disodium, décahydrate. Mais on trouve également, dans la littérature technique et scientifique, les termes borax, anhydre et borax, pentahydrate pour les autres formes de tétraborates de disodium les plus utilisées dans l'industrie.

Caractéristiques

Utilisations

[2, 3]

Principales applications industrielles et grand public pour l'acide borique et les tétraborates de disodium :

- industrie du verre, de la céramique et des émaux ;
- industrie nucléaire (ralentisseurs ou absorbeurs de neutrons) ;
- métallurgie (lubrifiants de tréfilage), galvanoplastie (bains de nickel et de zinc) ;
- composants de flux de soudage ou de brasage ;
- condensateurs électrolytiques ;
- industrie textile, des polymères, du cuir ;
- industrie des adhésifs (liants) ;
- retardateurs de flamme de fibres cellulosiques et matières plastiques ;
- substances actives biocides dans les produits de traitement du bois (lutte contre les organismes qui détruisent ou déforment le bois, y compris les insectes) ;
- industrie chimique : agents de fabrication de composés du bore (borates tels les borohydrures de sodium, potassium...), catalyseurs d'oxydation d'hydrocarbures... ;
- fertilisants en agriculture conventionnelle et biologique ;
- produits d'hygiène corporelle ;
- produits pharmaceutiques (antiseptique, antibactérien, antimycosique) ;

- conservateurs alimentaires (acide borique E284 et tétraborate de sodium E285) autorisés en Europe comme conservateurs antimicrobiens uniquement dans les œufs d'esturgeon (caviar).

Ces substances ont été utilisées comme insecticides dans les produits phytopharmaceutiques et comme antimicrobiens et régulateurs de pH dans les produits cosmétiques mais ces usages ne sont plus autorisés aujourd'hui (voir la partie "Réglementation").

Propriétés physiques

[1 à 6]

L' **acide borique** se présente sous forme de poudre cristalline ou de granulés blancs. Il est inodore.

L 'acide borique est modérément soluble dans l'eau, la solubilité augmentant avec la température. La présence de certains sels modifie la solubilité de l'acide borique dans l'eau soit en l'augmentant (chlorure de potassium, sulfate de sodium, borates, fluorures...) soit en la diminuant (chlorure de sodium...). L'acide borique est plus ou moins soluble dans certains solvants organiques (à 25 °C : 175 à 225 g/L dans le méthanol, 95 g/L dans l'éthanol, 17,5 % dans le glycérol, 1,5 % dans l'acétate d'éthyle, 0,6 % dans l'acétone).

Le **tétraborate de disodium anhydre** peut se présenter sous forme de poudre ou de cristaux blancs à gris. Il est hygroscopique, inodore et devient opaque quand il est exposé à l'air. Les formes « décahydrate » et « pentahydrate » sont des poudres, granulés ou cristaux blancs, inodores.

Les tétraborates de disodium sont modérément solubles dans l'eau. Ils sont solubles dans certains solvants organiques (à 25 °C : 16,7 % dans le méthanol, 30 % dans l'éthylène-glycol, 40,6 % dans le formamide par exemple pour la forme anhydre).

Les solutions aqueuses de tétraborates de disodium ont un pH légèrement alcalin (9,2).

Nom Substance	Détails	
Acide borique	Formule	**H_3BO_3**
	N° CAS	**10043-35-3**
	Etat Physique	**Solide**
	Solubilité	**50 g/L (à 20 °C dans l'eau)**
	Masse molaire	**61,8**
	Point de fusion	**décomposition à partir de 100 °C**
	Point d'ébullition	**300 °C**
	Densité	**1,5**
Tétraborate de disodium, anhydre	Formule	**$B_4Na_2O_7$**
	N° CAS	**1330-43-4**
	Etat Physique	**Solide**
	Solubilité	**25 g/L (à 20 °C dans l'eau)**
	Masse molaire	**201,2**
	Point de fusion	**environ 740 °C**
	Point d'ébullition	**1575 °C (décomposition)**
	Densité	**2,35**
Tétraborate de disodium, pentahydrate	Formule	**$B_4Na_2O_7.5H_2O$**
	N° CAS	**12179-04-3**
	Etat Physique	**Solide**
	Solubilité	**40 g/L (à 20 °C dans l'eau)**
	Masse molaire	**291,3**
	Point de fusion	
	Point d'ébullition	
	Densité	**1,86**
Tétraborate de disodium, décahydrate	Formule	**$B_4Na_2O_7.10H_2O$**
	N° CAS	**1303-96-4**
	Etat Physique	**Solide**
	Solubilité	**50 g/L (à 20 °C dans l'eau)**
	Masse molaire	**381,4**
	Point de fusion	
	Point d'ébullition	

	Densité	**1,74**

Propriétés chimiques

[3 à 6]

Lorsqu'il est chauffé lentement et en système ouvert, l'acide borique se décompose vers 100 °C en perdant progressivement de son eau et en se transformant en acide métaborique HBO_2 ; à des températures plus élevées, il se forme de l'anhydride borique B_2O_3 (1303-86-2) dont la forme cristalline fond à 450 °C.

L'acide borique en solution est un acide faible (pKa = 9,2). A pH acide, le bore se retouve en solution sous forme d'acide borique et à pH alcalin élevé, il se retrouve sous forme d'ions borate.

L'acide borique peut réagir de manière explosive dans certaines conditions avec l'anhydride acétique (à 58-60 °C) ou le potassium.

Le tétraborate de disodium, décahydrate perd 5 molécules d'eau à 100 °C et se transforme en tétraborate de disodium, pentahydrate, et 4 molécules d'eau supplémentaires à 150°C et devient du tétraborate de disodium anhydre vers 320°C.

VLEP et mesurages

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

[7 à 9]

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) dans l'air des lieux de travail ont été établies pour l'acide borique et le tétraborate de disodium (sous forme anhydre ou d'hydrates).

Substance	Pays	VME (mg/m³)	VLCT (mg/m³)	VLEP Description
Tétraborate de disodium, anhydre	France (VLEP indicative - 1987)	1		
Tétraborate de disodium, pentahydrate	France (VLEP indicative - 1987)	1		
Tétraborate de disodium, décahydrate	France (VLEP indicative - 1987)	5		
Composés inorganiques du bore	Etats-Unis (ACGIH - 2005)	2	6	particules inhalables (composés inorganiques du bore dont acide borique, tétraborate de sodium anhydre, pentahydrate, décahydrate)
Acide borique	Allemagne (valeurs MAK)	10	10	soit 1,8 mg/m ^{3} en bore ; aérosol inhalable ; VLCT de 0,75 mg/m ^{3} en bore en cas d'apparition simultanée d'acide borique et de tétraborates
Tétraborate de disodium, pentahydrate	Allemagne (valeurs MAK)	5		fraction inhalable

Méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle

Acide borique

Aucune méthode n'a été spécifiquement validée pour le prélèvement et le dosage de l'acide borique, mais la fraction inhalable des particules de la substance en suspension dans l'air pourrait être retenue sur un filtre en cassette (quartz PVC, ester de cellulose ou PTFE), éventuellement avec une capsule soudée à celle-ci (AccuCap ou équivalent), et le dosage de l'élément bore réalisé, par exemple, par spectrométrie d'émission à plasma (ICP/AES) après dissolution des particules dans l'eau [10 à 13].

La méthode pourra être validée au regard des normes publiées pour la détermination des métaux et métalloïdes dans les particules en suspension dans l'air [14 à 16].

Tétraborates de disodium

Aucune méthode spécifique n'a été publiée pour le prélèvement et le dosage d'un sel de sodium de l'acide borique dans l'air. Le prélèvement des aérosols de tétraborate de sodium peut être envisagé :

- soit, à l'aide d'un appareil CIP10-Inhalable ou -Alvéolaire (sur un filtre en mousse polyuréthane), d'un appareil CAThIA-Inhalable ou -Alvéolaire (sur une membrane ou un filtre) ou d'un cyclone Dorr-Oliver (sur une membrane ou un filtre). L'analyse des poussières est effectuée par gravimétrie [17, 18] ;
- soit, au travers d'une cassette contenant un filtre, si possible équipée d'une capsule interne (AccuCap® ou autre) [13]. L'analyse des particules collectées peut alors être effectuée par gravimétrie des poussières [19].

Le dosage du bore peut également être envisagé par spectrométrie (ICP-AES) après désorption à chaud à l'aide des micro-ondes dans un mélange d'eau et d'acide nitrique [20]. Dans ce cas, la présence possible de l'élément bore dans l'environnement du lieu de travail ou du laboratoire d'analyse constitue une interférence possible.

Incendie - Explosion

[3, 4]

L'acide borique et les tétraborates de disodium sont non combustibles.

En cas d'incendie, choisir l'agent d'extinction en fonction des autres produits/matériaux impliqués. Si possible, déplacer les récipients exposés au feu. Refroidir les récipients exposés ou ayant été exposés au feu à l'aide d'eau pulvérisée. En raison de ses effets sur la santé, on évitera de mettre en suspension les poussières d'acide borique en utilisant un agent extincteur sous pression (poudres, dioxyde de carbone, eau sous forme de jet bâton...).

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

[2]

L'acide borique et les tétraborates de sodium sont facilement absorbés par voie orale et par inhalation, et largement distribués dans l'organisme, avant d'être excrétés, essentiellement par les urines, sous forme d'acide borique.

Chez l'animal

[21]

Absorption

L'absorption par voie digestive est rapide et quasi complète (95 %). Le passage à travers la peau intacte est très faible mais il peut devenir important en cas de contact avec de la peau abimée [22]. L'absorption par les voies respiratoires est avérée mais non quantifiée.

Distribution

Chez le rat, le bore absorbé est distribué dans tout l'organisme, notamment dans le foie, les reins, le cerveau, les muscles, les glandes surrénales, les testicules ou le sang (61 mg B/ kg pc/j, 28 jours). L'état d'équilibre est atteint en 3 à 4 jours pour tous les tissus exceptés les os (équilibre atteint après 4 semaines) et le tissu adipeux, dans lequel de très faibles concentrations sont mesurées (seulement 20 % de la concentration en bore dans le plasma) [23].

Métabolisme

L'acide borique n'est pas métabolisé chez l'animal.

Elimination

Comme chez l'Homme, le bore est rapidement excrété, principalement par voie urinaire : chez le lapin, 50 à 66 % d'une dose absorbée par voie orale sont excrétés dans les urines en 24 heures. La demi-vie plasmatique du bore est de l'ordre de 3 heures chez le rat et de 1 heure chez la souris [24].

La clairance rénale du bore est trois fois plus rapide chez le rat que chez l'Homme [25].

La clairance du bore est plus faible que celle de la créatinine, suggérant, une réabsorption tubulaire de l'acide borique chez le rat [24].

Chez l'homme

[5, 26, 27]

- **Absorption**

L'acide borique et les tétraborates de sodium sont rapidement et presque entièrement absorbés par voie digestive (81-92 %), quel que soit le véhicule dans lequel ils sont dissous [28]. Le passage à travers la peau intacte est faible : 24 heures après le dépôt, il a été estimé à 0,23 % pour l'acide borique et à 0,21 % pour le tétraborate de sodium décahydraté (solutions à 5 % appliquées sur la peau de volontaires, pendant 24 heures, sous conditions non occlusives) [29].

Par inhalation, aucune donnée quantitative n'est disponible mais l'augmentation des concentrations de bore dans les tissus, le sang et son élimination par les urines traduisent leur absorption.

- **Distribution**

Dans l'organisme, les composés borates existent sous forme d'acide borique indissocié. L'acide borique diffuse dans tout l'organisme ; il traverse les barrières hémato-encéphalique et placentaire. Après une administration unique par voie orale, c'est au niveau du sang, des reins, du foie et du cœur que sont mesurées les concentrations les plus élevées. De faibles concentrations sont observées dans les tissus adipeux et il s'accumule dans les os.

En cas d'administrations répétées, l'acide borique est retrouvé préférentiellement au niveau des reins, des glandes surrénales, du cœur, du cerveau et du foie.

Par voie respiratoire, les tissus cibles identifiés sont les mêmes que ceux observés lors d'une administration par voie orale.

- **Métabolisme**

L'acide borique n'est pas métabolisé chez l'Homme. Les tétraborates de sodium se dissocient en acide borique à pH physiologique, au niveau de la couche aqueuse recouvrant les muqueuses, avant leur absorption.

- **Elimination**

L'élimination est rapide, principalement urinaire, avec plus de 90 % de la dose administrée éliminée dans les urines, quelle que soit la voie d'administration. L'élimination est presque complète 5 jours après l'administration par voie intraveineuse d'une dose unique de 562 à 611 mg d'acide borique. La demi-vie plasmatique du bore a été estimée à 21 heures par un modèle pharmacocinétique.

De faibles quantités de bore sont excrétées dans la salive, les fèces, le lait et la sueur [21].

Surveillance biologique de l'exposition

[30]

Le dosage du bore urinaire en fin de poste de travail peut être intéressant pour la surveillance biologique des salariés exposés. La concentration urinaire dépend de l'intensité de l'exposition mais cette corrélation n'est pas bien caractérisée.

Le dosage sanguin de bore est surtout intéressant lors d'exposition accidentelle.

Pour une exposition à l'acide borique et aux tétraborates, la Commission allemande DFG propose de faire la différence entre les concentrations de bore urinaire en début et en fin de poste, sans valeur chiffrée.

Des valeurs biologiques d'interprétation issues de la population générale, correspondant au 95 ^{e} percentile des valeurs mesurées, sont disponibles pour le bore urinaire et sanguin (ou plasmatique).

Mode d'action

L'acide borique et les tétraborates de sodium interfèrent avec le métabolisme des flavines, ce qui peut expliquer, au moins partiellement, ses effets toxiques.

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

[21, 26]

L'acide borique et les tétraborates de sodium sont peu toxiques en aigu ; leur potentiel irritant pour la peau et les muqueuses est variable selon les composés. Ils ne sont pas des sensibilisants cutanés.

Chez le rat, les DL50 par voie orale sont comprises entre 2660 et 4140 mg/kg pc pour l'acide borique (entre 465 et 724 mg B/kg), supérieures à 2500 mg/kg pc pour le tétraborate de sodium anhydre (538 mg B/kg), de 3305 mg/kg pc pour la forme pentahydratée (489 mg B/kg) et de 5560 mg/kg pc pour la forme décahydratée (628 mg B/kg).

Les CL50 4 h de l'acide borique et des tétraborates de sodium sont supérieures à 2 g/m ^{3} [21].

Par voie cutanée, les DL50 chez le lapin sont supérieures à 2000 mg/kg pc pour l'acide borique et les tétraborates, aucune mortalité n'étant observée [25].

L'administration orale ou parentérale de fortes doses de ces composés est suivie de troubles digestifs (vomissements, diarrhées), d'une accélération des rythmes cardiaque et respiratoire, d'une dépression du système nerveux central, d'une ataxie, d'une hypothermie puis d'un coma et de convulsions. L'examen anatomopathologique des animaux décédés révèle une gastroentérite hémorragique, une atteinte rénale tubulaire et glomérulaire, un aspect congestif et des lésions hypoxiques du système nerveux central [1].

Irritation, sensibilisation [1, 25]

L'acide borique est faiblement irritant pour la peau du lapin et du cochon d'Inde, les muqueuses oculaires et respiratoires. En solution à 1,9 % dans l'eau, il est parfaitement toléré par l'œil de lapin. L'acide borique n'est pas irritant pour les voies respiratoires supérieures.

Les tétraborates de sodium penta- et décahydratés ne sont pas irritants pour la peau de lapin. Une légère irritation oculaire est rapportée pour les formes hydratées. Les effets, réversibles en 2 semaines, sont probablement liés à la nature cristalline de ces substances.

Sous sa forme pentahydratée, aucune irritation des voies respiratoires supérieures n'est observée.

Aucun potentiel sensibilisant pour la peau n'est observé dans les tests de Buehler disponibles pour ces composés [2].

Toxicité subchronique, chronique

[21]

Les études chroniques et subchroniques mettent en évidence des effets sur le sang, la rate, le système immunitaire ou le foie, ainsi que des effets systémiques non spécifiques.

Acide borique

Des rats nourris avec des aliments contenant de l'acide borique ont développé une intoxication dont le tableau associait une diminution de la croissance pondérale (68 mg B/kg pc/j sous forme d'acide borique pendant 9 semaines, NOAEL = 52 mg B/kg pc/j, [31]), une polypnée, une hyperhémie conjonctivale, un œdème des pattes, une desquamation des pattes et de la queue (88 et 260 mg B/kg pc/j pendant 90 jours dans la nourriture, NOAEL = 26 mg B/kg pc/j, [32]).

Une étude récente, menée chez des rats mâles exposés à 0,16 mg B/kg pc/j pendant 90 jours, a mis en évidence une hématotoxicité (anémie, thrombopénie et leucopénie), une immunotoxicité (augmentation de l'expression d'interféron γ, de TNF α et d'interleukines, baisse des taux d'immunoglobulines) et des atteintes histopathologiques de rate (hyperplasie de la pulpe rouge, dégénérescence des cellules spléniques, infiltration de macrophages et atrophie de la pulpe blanche) [33]. Dans l'étude du NTP, une diminution du volume de globules rouges et de l'hémoglobine a été mesurée uniquement chez les mâles à la plus forte dose (58,5 mg B/kg pc/j pendant 2 ans, NOAEL = 17,5 mg B/kg pc/j) [34].

Chez la souris, une diminution de la prise de poids a été rapportée dans des études de 90 jours, à partir de 142 mg B/kg pc/j pour les mâles et 196 mg B/kg/j pour les femelles (NOAEL = 71/98 mg B/kg pc/j m/f) [25]. Par ailleurs, des effets hépatiques ont été observés chez des souris exposées pendant 2 ans à des doses ≥ 79 mg B/kg pc/j dans la nourriture (inflammation chronique et nécrose), ce qui n'a pas été le cas pour des expositions plus courtes [34].

Tétraborates de sodium

Des rats Sprague-Dawley ont été exposés à du tétraborate de sodium décahydraté via l'alimentation pendant 90 jours (0-2,6-8,8-26-88 et 260 mg B/kg pc/j). À la plus forte dose, tous les animaux sont morts ; des effets non spécifiques, identiques à ceux de l'acide borique, sont rapportés à partir de 88 mg B/kg pc/j (diminution de la croissance pondérale, polypnée, hyperhémie conjonctivale, atteintes des pattes et de la queue). A cette même dose, le poids du foie et de la rate est diminué chez les femelles ; chez les mâles, la baisse concerne les reins et les glandes surrénales [2]. Après deux années d'exposition (0-5,9-17,5 et 58,5 mg B/kg pc/j, dans la nourriture), le taux d'hémoglobine et le volume érythrocytaire sont diminués chez les rats exposés à la plus forte dose [2].

Chez les rats Long Evans exposés au tétraborate de sodium décahydraté via l'eau de boisson pendant 70 jours, le poids des animaux diminue ainsi que celui des vésicules séminales, des testicules, de la rate, du fémur, de même que le taux de triglycérides plasmatiques. Ces effets sont observés aux doses de 23,7 et de 44,7 mg B/kg pc/j. À cette dernière dose, l'hématocrite est légèrement diminué et la spermatogenèse altérée [35].

Effets génotoxiques

[2, 21, 34, 36]

L'acide borique et les tétraborates de sodium ne sont pas considérés comme génotoxiques.

- *In vitro*

Il n'a pas été mis en évidence d'effet mutagène de l'acide borique dans les tests d'Ames (sur *Salmonella typhimurium* et *E. coli*) avec ou sans activation métabolique. De même les tests d'aberration chromosomique (cellules ovariennes de hamster), de mutation génique (cellules de lymphome de souris, fibroblastes humains et murins, cellules ovariennes de hamster) et de transformation cellulaire (cellules de mammifères) se sont avérés négatifs.

En revanche, des aberrations chromosomiques structurelles, mais pas d'échanges de chromatides sœurs, ont été observées sur des cultures des lymphocytes humains exposés à de l'acide borique (400 à 1000 µg/l d'acide borique, dissous dans du DMSO, pendant 24 ou 48 h) [37].

Concernant les tétraborates de sodium, aucune activité mutagène n'a été observée avec ou sans activation métabolique (test d'Ames sur *S. typhimurium*, méthode de pré-incubation) [36]. Le tétraborate de sodium décahydraté (brut et raffiné) n'induit ni mutation sur des fibroblastes de hamster chinois, ni transformation néoplasique sur des fibroblastes d'embryons de souris, mais s'avère cytotoxique pour ces cellules. Aucun effet génotoxique du tétraborate de sodium décahydraté n'a été mis en évidence que ce soit sur lymphocytes ou érythrocytes humains : résultats négatifs pour les échanges de chromatides sœurs, les micronoyaux et les aberrations chromosomiques [38].

- *In vivo*

Un essai de micronoyaux donne des résultats négatifs chez la souris (acide borique, gavage de 0 à 3500 mg/kg pc/j, pendant 2 jours) [1].

Un test des comètes met en évidence une augmentation des dommages à l'ADN spermatique, en lien avec la dose, après 6 semaines d'exposition à 20-44 ou 79 mg B/kg pc/j (sous forme d'acide borique) ; une augmentation du stress oxydant est aussi observée dans les tissus testiculaires [39].

Aucun des borates inorganiques testés (tétraborate de sodium pentahydraté et décahydraté, tétraborate de sodium anhydre) n'est mutagène *in vivo*. Le borax n'entraine aucune augmentation du nombre de micronoyaux au niveau d'hépatocytes de rats, à la suite d'une exposition par voie intrapéritonéale (3,25 et 13 mg/kg pc/j, pendant 10 jours) [40].

Effets cancérogènes

[21, 34]

Aucune tumeur n'a été mise en évidence dans les études disponibles.

Dans une étude réalisée sur le chien à des doses allant jusqu'à 350 ppm d'acide borique (6,8 mg B/kg/j, 2 ans), aucune tumeur n'a été rapportée. Il en est de même chez le rat, nourri avec des doses allant jusqu'à 81 mg B/kg/j pendant 2 ans. Même si des carcinomes hépatocellulaires et une augmentation de l'incidence de tumeurs sous-cutanées ont été observés chez la souris mâle à une dose de 2500 ppm (446 mg B/kg/j), leurs incidences étaient comprises dans les valeurs des contrôles historiques ; à 5000 ppm (992 mg B/kg/j), aucun effet cancérogène n'est rapporté.

De même, dans les études chroniques réalisées chez le chien (jusqu'à 8,8 mg B/kg/j) et le rat (58,5 mg B/kg/j), exposés *via* la nourriture au tétraborate de sodium décahydraté, aucune tumeur n'a été rapportée.

Effets sur la reproduction

[21, 36]

Le fœtus en développement et les testicules sont les principales cibles de l'acide borique et des tétraborates de sodium chez de nombreuses espèces.

Fertilité

De nombreuses études mettent en évidence les effets sur le système reproducteur masculin de l'acide borique et des tétraborates de sodium, suite à une exposition par voie orale (dans l'eau de boisson, en mélange dans la nourriture ou par gavage). Histologiquement, l'atteinte des cellules germinales est prédominante. Le mécanisme d'action de l'acide borique n'est pas connu, mais les données disponibles suggèrent un effet sur les cellules de Sertoli, induisant une altération de la maturation et de la libération du sperme.

Acide borique

Les effets testiculaires apparaissent après seulement 2 semaines d'exposition chez le rat (44 et 52,5 mg B/kg pc/j, par gavage) : diminution du poids des testicules, formation de cellules géantes multinucléées, présence de corps résiduels, dégénérescence/nécrose des cellules germinales et inhibition de la spermiation (rétention des spermatides). La NOAEL déterminée à partir de ces effets est de 22 mg B/kg pc/j) [41, 42].

Les effets sur le système reproducteur masculin des rats, rapportés suite à des expositions chroniques d'acide borique, sont les suivants :

- diminution du poids des organes (testicules, épididymes, prostate...) ;
- désorganisation et gonflement de l'épithélium germinal, exfoliation des cellules germinales, atrophie des tubes séminifères ;
- présence de débris cellulaires dans les testicules et les épididymes, apparition des cellules géantes multinucléées ;
- atteinte plus ou moins sévère de la spermiation, baisse de la motilité et de la viabilité des spermatozoïdes, augmentation de l'incidence des spermatozoïdes présentant des anomalies morphologiques.

Lorsque les lésions des tubes séminifères sont importantes, leur régression à l'arrêt de l'exposition est lente et souvent incomplète. Les conséquences sur la reproduction de ces effets testiculaires vont d'une augmentation des pertes préimplantatoires à une stérilité complète. Les premiers effets apparaissent sur le sperme, dès 26 mg B/kg pc/j [31] ; la dose la plus élevée sans effet, identifiée dans les études disponibles, est de 10 mg B/kg pc/j [32].

Chez les rats femelles, une diminution de l'ovulation a été observée suite à une exposition à 116 mg B/kg pc/j, dans l'eau de boisson, pendant 2 ans (NOAEL = 12 mg B/kg pc/j) [32].

Des effets similaires sont observés chez la souris. Dans une étude deux générations, l'indice de fertilité, le poids des testicules et de l'épididyme, et des indices testiculaires (index spermatogénique, diamètre des tubes séminifères, spermatides par testicule) ont été significativement réduits chez les mâles exposés à 111 mg B/kg pc/j. La dose inférieure (mâles : 19,2 mg B/kg pc/j ; femelles : 32 mg B/kg pc/j) diminuait la mobilité des spermatozoïdes chez les parents et la concentration du sperme chez quelques mâles de la première génération ; chez la femelle, on a pu observer une augmentation des poids de l'utérus et des reins ainsi que des cycles œstraux plus courts [43]. Aucune NOAEL n'a pu être définie à partir de ces résultats.

Dans une étude de 2 ans, une atrophie testiculaire et une hyperplasie des cellules interstitielles associées à une létalité plus importante chez les souris mâles ont été observées à 96 mg B/kg pc/j ; la concentration de 48 mg B/kg pc/j est sans effet [34].

Tétraborate de sodium décahydraté

Une étude menée sur 3 générations de rats a permis de déterminer une NOAEL de 17,5 mg B/kg pc/j, à partir des effets toxiques sur les testicules, d'une réduction de la spermiation chez le mâle et d'une diminution de l'ovulation chez la femelle. Aux doses les plus élevées, une atrophie testiculaire et une déplétion des cellules germinales testiculaires sont observées. La fertilité est fortement impactée : l'accouplement entre les femelles exposées et les mâles non exposés n'engendre aucune descendance [2, 32].

Chez la souris, une LOAEL pour les effets sur la fertilité de 27 mg B/kg pc/j a été déterminée (exposition en continu dans la nourriture). A cette dose, une diminution de la motilité spermatique est observée à la génération F0 ; dans la génération F1, le poids de l'utérus est augmenté, le cycle œstral raccourci et la concentration spermatique diminuée de 25 % ; à la seconde génération, on observe une réduction du poids des souriceaux [43].

Aucune étude n'est disponible par voie respiratoire ou cutanée.

Développement

Concernant la toxicité sur le développement, seules des données sur l'acide borique sont disponibles (rats, souris et lapins). Étant donné que les composés du bore sont présents sous forme d'acide borique dans l'organisme, les données de ce dernier par voie orale peuvent être extrapolées aux tétraborates de sodium [29, 44].

Les effets observés sur le développement incluent un taux élevé de mortalité prénatale, une réduction du poids de fœtus et des malformations (systèmes nerveux central, yeux, système cardiovasculaire et axe squelettique). Ces effets sont observés pour des concentrations inférieures à celles entrainant les effets sur les testicules.

Le rat est l'espèce la plus sensible [45]. Des anomalies du squelette costal sont fréquemment observées chez le rat et la souris alors que les malformations cardiovasculaires sont plus fréquentes chez le lapin (Tableau 1).

Conditions expérimentales	Durée exposition	Effets observés	NOAEL	Référence
Souris gestantes, 0-43-79-175 mg B/kg pc/j	Du 1 er au 17 e jour de gestation	79 mg B/kg pc/j : baisse du poids fœtal par portée, augmentation du nombre de fœtus avec des côtes rétrécies	43 mg B/kg pc/j	[46]
Souris (0-1000-4500-9000 ppm) Femelles : 32-148-290 mg B/kg pc/j Mâles : 19-105-221 mg B/kg pc/j	En continu pendant 27 semaines	9000 ppm : aucune portée 4500 ppm : baisse du nombre de portées, du nombre de nouveau-nés vivants par portée et de leur poids 1000 ppm : diminution de la concentration spermatique chez quelques nouveau-nés mâles de la génération F1	-	[43]
Rates gestantes, 0-13,6-28,5-57,7 mg B/kg pc/j	Du 1 er au 20 e jour de gestation	13,6 mg B/kg pc/j : baisse du poids fœtal	-	[46]
Rates gestantes, 0 ou 94,2 mg B/kg pc/j	Du 6 e au 15 e jour de gestation	Chez les mères : baisse de la consommation d'eau et de nourriture et augmentation du poids du foie et des reins Chez les fœtus : augmentation des malformations (dilatation ventriculaire cérébrale, XIIIème côte réduite)	-	
Rates gestantes, 0-3-6-10-13-25 mg B/kg pc/j	Du 1 er au 20 e jour de gestation Sacrifice au 20 e jour ou 21 jours après la délivrance	13 mg B/kg pc/j : baisse poids fœtal au 20 e jour de gestation 25 mg B/kg pc/j : XIIIème côte réduite chez les nouveau-nés de 21 jours	10 mg B/kg pc/j	[47]
Rates gestantes, 0-5-10-20 mg B/kg pc/j	Du 6 e au 21 e jour de gestation puis exposition des nouveau-nés jusqu'au 28 e jour postnatal	20 mg B/kg pc/j : incidence d'hernies ombilicales en légère hausse au 7 e jour mais transitoire, diminution du poids fœtal	10 mg B/kg pc/j	[48]
Lapines gestantes, 0-10,9-21,9-43,7 mg B/kg pc/j	Du 6 e au 19 e jour de gestation (gavage), sacrifice au 30 e jour	43,7 mg B/kg pc/j : malformations cardiaques fœtales (anomalie du septum interventriculaire)	21,9 mg B/kg pc/j	[49]

Tableau 1 : Effets de l'acide borique sur le développement des rats, souris et lapins.

Effets pertubateurs endocriniens

Une diminution de la concentration en testostérone a été mesurée chez des rats recevant 61 mg B/kg pc/j dans la nourriture, pendant 28 jours [50] ou 136 mg B/kg pc/j pendant 60 jours [51]. Dans une étude plus récente, une augmentation des taux de testostérone et d'œstradiol a été rapportée chez des rats exposés à 44 mg B/kg pc/j pendant 60 jours, par gavage [52].

Une augmentation du taux des hormones folliculo-stimulante (FSH) et lutéo-stimulante (LH) a été mesurée chez des rats exposés de 26 à 68 mg B/kg pc/j pendant 9 semaines. L'augmentation est supposée être une réponse compensatoire à l'atrophie des testicules [31].

Bien qu'il soit démontré que des doses élevées d'acide borique peuvent produire une toxicité pour la reproduction et le développement des mâles chez les rongeurs, il n'existe aucune preuve convaincante que les effets sur la santé, induits par l'acide borique, soient consécutifs à des modifications de la fonction endocrinienne [1, 45, 53].

Concernant le tétraborate de sodium décahydraté, des activités anti-œstrogénique et anti-androgénique observées dans une étude, demandent à être confirmées avant de pouvoir conclure [54].

Toxicité sur l'Homme

En milieu professionnel, l'exposition aiguë ou chronique se traduit principalement par des effets irritants des muqueuses voire de la peau selon le mode d'exposition, ainsi qu'une toxicité directe sur le follicule pileux à l'origine d'une dépilation réversible. Des publications anciennes décrivent de possibles signes d'intoxication systémique (encéphalopathie débutante,...) chez des travailleurs exposés de façon prolongée à des concentrations élevées. L'acide borique et le borax ne sont pas considérés comme sensibilisants. Les données disponibles chez l'Homme sont en faveur de l'absence d'effet génotoxiques. On ne dispose pas de donnée sur d'éventuels effets cancérogènes. Les études de reprotoxicité chez l'Homme sont insuffisantes pour démontrer l'absence d'effet néfaste sur la fertilité ou le développement.

Toxicité aiguë

Une irritation des yeux et des voies respiratoires (sécheresse de la bouche, du nez ou de la gorge, mal de gorge, toux, dyspnée...) a été décrite chez des travailleurs exposés à l'acide borique et aux borates de sodium en suspension dans l'air à partir d'environ 4 mg/m ^{3} [9, 55 à 58]. Le borax est sévèrement irritant pour les yeux [59].

Aucune intoxication aiguë systémique n'a été rapportée chez des travailleurs exposés à l'acide borique ou au borax [60]. Les intoxications aiguës systémiques par l'acide borique sont secondaires à des ingestions massives ou un contact prolongé avec une peau lésée [9, 25, 59, 61, 62]. Après un délai de quelques heures, la symptomatologie de ces intoxications systémiques associe typiquement des troubles digestifs (nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées) et neurologiques (hypertonie, agitation, tremblements, convulsions, céphalées,...) voire des troubles hémodynamiques, une hyperthermie et une acidose métabolique. Plusieurs observations signalent des atteintes rénale, hépatique et pancréatique. Au décours de l'intoxication, une atteinte de la peau (typiquement érythème des mains, des pieds et du siège évoluant vers la desquamation) peut également survenir [59, 61].

Toxicité chronique

Les contacts cutanés répétés peuvent provoquer des dermites d'irritation [60, 63].

L'exposition à des poussières, aérosols, fumées peut entraîner des conjonctivites, des rhinites, des bronchites chroniques voire des troubles digestifs mineurs [60, 63]. Il n'a pas été retrouvé d'altération de la fonction respiratoire chez des travailleurs exposés aux borates de sodium lors d'opérations d'extraction et de traitement ; aucune donnée n'a été retrouvée en ce qui concerne l'acide borique [9, 58].

Une toxicité directe sur le folicule pileux à l'origine d'une perte réversible des poils et des cheveux a été décrite chez des travailleurs exposés [60, 63].

Des publications anciennes rapportent des signes évocateurs d'encéphalopathies débutantes chez des travailleurs exposés de façon prolongée à des concentrations élevées, mais l'imputabilité reste douteuse [60, 63].

- ***Sensibilisation***

Des dermatoses de contact allergiques ont été observées chez des travailleurs manipulant des fluides de coupe contenant de l'acide borique ; l'allergie est peut-être en relation avec un produit de réaction formé avec la monoéthanolamine au sein de la préparation [64]. Des patch-tests positifs aux alcalinoborates présents dans ces fluides ont été mis en évidence dans quelques cas, les patch tests évaluant l'acide borique seul à 3 % dans de l'eau étaient négatifs [65].

Effets génotoxiques

Les études de génotoxicité (tests des comètes et des micronoyaux) menées chez l'Homme exposé au bore de façon environnementale ou professionnelle sont en faveur de l'absence d'effet génotoxiques de l'acide borique et du borax [60, 66 à 68]. Il n'a pas été retrouvé de données de génotoxicité en milieu professionnel issues d'études indépendantes.

Effets cancérogènes

Il n'a pas été retrouvé d'études portant spécifiquement sur d'éventuels effets cancérogènes de l'acide borique ou du borax chez des travailleurs exposés. Les cancers de la peau qui ont été décrits chez des mineurs de borax ont été attribués à une co exposition à l'arsenic [63, 69].

Effets sur la reproduction

[70]

Fertilité

Dans une étude ancienne de Tarasenko menée en URSS chez 28 sujets exposés plus de 10 ans à l'acide borique, une réduction de la libido et une oligoasthénospermie ont été rapportées chez 6 d'entre eux [63]. Dans 50 % des cas, les prélèvements atmosphériques au poste de travail étaient élevés compris entre 20 et 83 mg/m ^{3}. Ces résultats, réalisés sur une très faible cohorte, n'ont pas été confirmés par d'autres études.

Ainsi, aux États-Unis, aucun effet sur la fertilité masculine n'a été retrouvé chez 542 travailleurs (parmi 753) exposés à l'acide borique ou au borate de sodium et répartis en 5 groupes selon le niveau d'exposition en utilisant le taux de natalité standardisé (Standardised Birth Ratio) comme indice de fertilité (nombre de naissances observées/nombre de naissances attendues). Pour une sélection de 42 sujets les plus exposés, l'exposition moyenne était de 28,4 mg B/jour (environ 0,4 mg B/kg/j pendant plus de 2 ans), et le nombre de naissances était supérieur à celui de la moyenne nationale aux États-Unis. Les auteurs concluent que l'exposition professionnelle ne semble pas avoir de conséquence sur la capacité de reproduction de ces hommes [71].

La plupart des études menées ultérieurement ne sont pas indépendantes et ne rapportent pas d'association entre l'exposition professionnelle ou environnementale en Turquie ou en Chine et une altération de la qualité du sperme **[72 à 74]** ou une altération du taux sanguin de FSH, LH et testostérone **[75 à 78]**. Un ratio Y/X plus faible a été observé dans les spermatozoïdes d'hommes exposés au bore de façon professionnelle ou environnementale en Chine **[73]**, mais n'a pas été retrouvé dans une cohorte du même type en Turquie **[79]**.

Développement

Dans une étude chinoise, des travailleurs de l'industrie du bore rapportent un nombre moyen de bébés nés vivants plus faible et des avortements induits plus fréquents qu'un groupe de travailleurs issus d'une zone où l'exposition environnementale est faible. Mais il n'a pas été observé de différence significative concernant les grossesses multiples, les fausses couches spontanées, les bébés morts nés, les grossesses extra utérines, le sex ratio et les grossesses tardives. L'absence de données sur les conjointes de ces hommes ainsi que l'influence de facteurs de confusion rendent difficile l'interprétation de ces données **[80]**.

Il n'a pas été trouvé d'étude portant spécifiquement sur les issues de grossesses de femmes exposées professionnellement.

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : mars 2022

Les textes cités se rapportent essentiellement à le 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*).

Mesures de prévention des risques chimiques (agents cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction dits CMR, de catégorie 1A ou 1B)

- Articles R. 4412-59 à R. 4412-93 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.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Circulaire du 5 mai 1986 modifiant la circulaire du ministère du Travail du 19 juillet 1982 (non parues au *JO*).

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.

Suivi Individuel Renforcé (SIR)

- Article R. 4624-23 du Code du travail (modifié par le décret n°2016-1908 du 27 décembre 2016).

Visite médicale des travailleurs avant leur départ en retraite

- Article L. 4624-2-1 du Code du travail.

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.
- Femmes enceintes ou allaitant : article D. 4152-10 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) ***substances*** acide borique, acide borique naturel (ne renfermant pas plus de 85 % en poids de H_3BO_3 calculé sur le poids sec), tétraborate de disodium (anhydre ou hydraté)

Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (JOUE 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 de l'acide borique et des tétraborates de disodium figurent dans l'annexe VI du règlement CLP. La classification est :

- Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B ; H360FD

Certains fournisseurs de tétraborates de disodium proposent l'auto-classification suivante :

- Toxicité pour la reproduction, catégorie 1B ; H360FD
- Irritant pour les yeux catégorie 2 ; H319

Pour plus d'informations, se reporter au site de l'ECHA (**https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals**).

b) ***mélanges*** contenant de l'acide borique ou du tétraborate de disodium (anhydre ou hydraté)

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

Interdiction / Limitations d'emploi

- **Produits CMR**

Règlement (UE) n° 552/2009 de la Commission du 22 juin 2009 modifiant l'annexe XVII de règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables à certaines substances dangereuses (point 30 : substances figurant à l'annexe VI du règlement CLP et classées toxiques pour la reproduction catégorie 1A ou 1B).

- **Produits biocides**

Ils sont soumis à la réglementation biocides (articles L. 522-1 et suivants du Code de l'environnement). À terme, la totalité des produits biocides seront soumis à des autorisations de mise sur le marché.

L'acide borique et les tétraborates de disodium sont des substances actives identifiées à l'annexe I et notifiées à l'annexe II du règlement (CE) n° 1451/2007 pour différents types de produits biocides.

À la date de publication de cette fiche :

1 | l'acide borique est uniquement approuvé en vue de son utilisation dans les produits biocides relevant du type de produits 8 (TP 8 : Produits de protection du bois) à compter du 1 er septembre 2011 jusqu'au 28 février 2024 (directive 2009/94/CE de la Commission du 31 juillet 2009 et décision d'exécution (UE) 2021/1288 de la Commission du 2 août 2021).

2 | l'acide borique ne peut plus être utilisé dans les types de produits suivants : TP 1 (Hygiène humaine), TP 2 (Désinfectants et produits algicides non destinés à l'application directe sur des êtres humains ou des animaux), TP 3 (Hygiène vétérinaire), TP 6 (Protection des produits pendant le stockage), TP 7 (Produits de protection pour les pellicules), TP 9 (Produits de protection des fibres, du cuir, du caoutchouc et des matériaux polymérisés), TP 10 (Produits de protection des matériaux de construction), TP 11 (Produits de protection des liquides utilisés dans les systèmes de refroidissement et de fabrication), TP 12 (Produits anti-biofilm), TP 13 (Produits de protection des fluides de travail ou de coupe), TP 18 (Insecticides, acaricides et produits utilisés pour lutter contre les autres arthropodes), TP 22 (Fluides utilisés pour l'embaumement et la taxidermie).

3 | les tétraborates de disodium sont uniquement approuvés en vue de leur utilisation dans les produits biocides relevant du type de produits 8 (TP 8 : Produits de protection du bois) à compter du 1 er septembre 2011 jusqu'au 28 février 2024 (directive 2009/91/CE de la Commission du 31 juillet 2009 et décision d'exécution (UE) 2021/1290 de la Commission du 2 août 2021).

4 | les tétraborates de disodium ne peuvent plus être utilisés dans les types de produits suivants : TP 1 (Hygiène humaine), TP 2 (Désinfectants et produits algicides non destinés à l'application directe sur des êtres humains ou des animaux), TP 7 (Produits de protection pour les pellicules), TP 9 (Produits de protection des fibres, du cuir, du caoutchouc et des matériaux polymérisés), TP 10 (Produits de protection des matériaux de construction), TP 11 (Produits de protection des liquides utilisés dans les systèmes de refroidissement et de fabrication), TP 13 (Produits de protection des fluides de travail ou de coupe), TP 18 (Insecticides, acaricides et produits utilisés pour lutter contre les autres arthropodes).

Pour plus d'informations, consulter le Helpdesk Biocides de l'Anses (**https://www.helpdesk-biocides.fr/**) ou le site de l'Echa (**https://echa.europa.eu/fr/informationon-chemicals**).

- **Produits phytopharmaceutiques**

Ils sont soumis à autorisation de mise sur le marché (article L. 253-1 du Code rural et de la pêche maritime).

L'acide borique et les tétraborates de disodium sont inscrits sur la liste des coformulants ne pouvant pas entrer dans la composition des produits phytopharmaceutiques (Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009).

Pour plus d'informations, consulter le site de l'Anses (**https://www.anses.fr/fr/thematique/produits-phytopharmaceutiques-biocides-et-fertilisants**).

- **Produits cosmétiques**

L'acide borique et les tétraborates de disodium sont inscrits sur la liste des substances interdites dans les produits cosmétiques (règlement (UE) n° 2019/831 de la Commission du 22 mai 2019).

Protection de la population

- Article L. 1342-2 du Code de la santé publique en application du règlement CE/1272/2008 (CLP) :
  - détention dans des conditions déterminées (art. R. 1342-21) ;
  - étiquetage (cf. n°§ Classification & étiquetage) ;
  - cession réglementée (art. R 5132-58 et 5132-59).

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.frl**) 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 (**www.unece.org/fr/trans/danger/publi/adr/adr_f.html**). Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé du transport.

Recommandations

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

- N'entreposer dans les ateliers que **des quantités réduites de substance** et ne dépassant pas celles nécessaires au travail d'une journée.
- **Éviter tout contact** de produit avec **la peau** et **les yeux**. **Éviter l'inhalation** de poussières. Effectuer en **système clos** toute opération industrielle qui s'y prête. Dans tous les cas, prévoir une **aspiration** des poussières à leur source d'émission, ainsi qu'une **ventilation** des lieux de travail conformément à la réglementation en vigueur **[81]**.
- **Réduire** le nombre de personnes exposées à l'acide borique et aux tétraborates de disodium.
- Éviter tout rejet atmosphérique d'acide borique et de tétraborates de disodium.
- Evaluer **régulièrement** l'exposition des salariés à l'acide borique et aux tétraborates de disodium présents dans l'air (§ Méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle).
- Au besoin, les espaces dans lesquels la substance est stockée et/ou manipulée doivent faire l'objet d'une **signalisation** **[82]**.
- Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu de l'acide borique ou un tétraborate de disodium sans prendre les précautions d'usage **[83]**.
- Supprimer toute source d'exposition par contamination en procédant à un **nettoyage régulier** des locaux et postes de travail, **à l'humide** ou en utilisant un **système d'aspiration**.

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 **[84 à 87]**.

- Appareils de protection respiratoire : Si un appareil filtrant peut être utilisé, il doit être muni d'un filtre de type P3 lors de la manipulation de la substance **[88]**.
- Gants : Les matériaux préconisés pour **un contact prolongé** sont les caoutchoucs naturel, butyle, néoprène, nitrile, le poly(chlorure de vinyle), Viton ® et Viton ®/Butyl Rubber (élastomères fluorés), Barrier ®- PE/PA/PE et Silver Shield ® PE/EVAL/PE. L'alcool polyvinylique est à éviter **[89 à 91]**.
- 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** 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** **[92]**.
- 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 **[93]**.

Stockage

- Stocker ces substances 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...).
- Le stockage de l'acide borique et des tétraborates de disosidum s'effectue habituellement dans des emballages en papier, carton, polypropylène ou polyéthylène haute densité. 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.
- **Fermer soigneusement** les récipients et les étiqueter conformément à la réglementation. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement.
- Le sol des locaux sera **imperméable** et formera **une cuvette de rétention** afin qu'en cas de déversement, ces substances ne puissent pas se répandre au dehors.
- 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** ces substances des bases fortes. Si possible, les stocker **à l'écart** des autres produits chimiques dangereux.

Déchets

- Le stockage des déchets doit suivre les mêmes règles que le stockage des substances à leur arrivée (§ stockage).
- Ne pas rejeter à l'égout ou dans le milieu naturel les eaux polluées par de l'acide borique ou du tétraborate de disodium.
- Conserver les déchets et les produits souillés dans des récipients spécialement prévus à cet effet, **clos et étanches**. Les éliminer dans les conditions autorisées par la réglementation en vigueur.

En cas d'urgence

- En cas de déversement accidentel de poudre ou de poussières, **le balayage et l'utilisation de la soufflette sont à proscrire**. Récupérer le produit en l'aspirant avec un aspirateur industriel.
- 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 **fontaines oculaires** **[94]**.
- 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 initiales et périodiques**
  - **Examen clinique** : rechercher plus particulièrement des signes d'atteinte respiratoire, oculaire, cutanée, des signes d'encéphalopathie débutante ou encore des difficultés de conception.
  - **Examens complémentaires :** la fréquence des examens médicaux périodiques et la nécessité ou non d'effectuer des examens complémentaires (épreuves fonctionelles respiratoires,...) 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.
- **Fertilité/Femmes enceintes et/ou allaitantes**
  - L'exposition à l'acide borique et au borax des femmes enceintes ou allaitantes est réglementairement interdite. Des difficultés de conception chez l'homme et/ou la femme seront systématiquement recherchées à l'interrogatoire. Si de telles difficultés existent, le rôle de l'exposition professionnelle doit être évalué. Si nécessaire, une orientation vers une consultation spécialisée sera proposée en fournissant toutes les données disponibles sur l'exposition et les produits.
  - Si malgré tout, une exposition durant la grossesse se produisait, informer la personne qui prend en charge le suivi de cette grossesse, en lui fournissant toutes les données concernant les conditions d'exposition ainsi que les données toxicologiques.
  - Informer les salarié(e)s exposés des dangers de cette substance pour la fertilité et la grossesse et de l'importance du respect des mesures de prévention.
  - Rappeler aux femmes en âge de procréer l'intérêt de déclarer le plus tôt possible leur grossesse à l'employeur, et d'avertir le médecin du travail.
- **Surveillance biologique de l'exposition**
  - Le dosage du bore urinaire en fin de poste de travail peut être intéressant pour la surveillance biologique des salariés exposés. Des valeurs biologiques d'interprétation issues de la population générale, correspondant au 95 e percentile des valeurs mesurées, sont disponibles pour cet indicateur **[30]**.

Conduite à tenir en cas d'urgence

- **En cas de contact cutané** : appeler rapidement un centre anti poison. Retirer les vêtements souillés (avec des gants adaptés) et laver la peau immédiatement et abondamment à grande eau pendant au moins 15 minutes. Si des lésions cutanées existent ou apparaissent, ou si la contamination cutanée est étendue ou prolongée, une surveillance médicale (clinique et biologique) est nécessaire.
- **En cas de projection oculaire** : 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. Si une irritation oculaire apparait, consulter un ophtalmologiste et le cas échéant lui signaler le port de lentilles.
- **En cas d'inhalation massive** : transporter la victime en dehors de la zone polluée en prenant les précautions nécessaires pour les sauveteurs.
- **En cas d'ingestion** : si la victime est consciente, faire rincer la bouche avec de l'eau, ne pas faire boire, ne pas tenter de provoquer des vomissements.

Dans les deux derniers cas, appeler rapidement un centre anti poison ou un SAMU. 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). Même si l'état initial paraît satisfaisant, transférer en milieu hospitalier par ambulance médicalisée si nécessaire.

Bibliographie

1 | Boric acid, Disodium tetraborate, anhydrous. Dossiers d'enregistrement. ECHA (**https://echa.europa.eu/fr/home**).

2 | Boric acid, disodium tetraborate, anhydrous. European Union Risk Assessment Report. Draft. European Chemical Bureau, 2007 (**https://echa.europa.eu/fr/home**).

3 | Boric acid, borax anhydrous, borax pentahydrate, borax decahydrate. In : PubChem. US NLM (**https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/**).

4 | Boric acid, disodium tetraborate. In : Gestis-databank on hazardous substances. BGIA (**https://gestis-database.dguv.de/search**).

5 | Acide borique, borax anhydre, borax décahydrate, borax pentahydrate. In : Répertoire toxicologique. CNESST (**https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/repertoire-toxicologique.aspx**).

6 | Boric acid, sodium tetraborate, sodium borate, decahydrate. Fiches IPCS. ICSC 0991, 1229, 0567. International Labour Organization (ILO) (**https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.home**).

7 | Tétraborate de disodium, anhydre, tétraborate de disodium, pentahydrate, tétraborate de disodium, décahydrate. Liste des VLEP françaises. INRS (**https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65**).

8 | Courtois B et al. – Les valeurs limites d'exposition professionnelle. Brochure ED 6443. INRS (**https://www.inrs.fr**).

9 | Borate compounds, inorganic. Documentation of the TLVs® and BEIs® with worldwide occupational exposure values. Cincinnati : ACGIH, CD-ROM, 2021.

10 | Prélèvement des aérosols - Généralités. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2015 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

11 | Prélèvement des aérosols par cassette fermée. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2015 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

12 | Métaux et métalloïdes. Méthodes M-120, M-121, M-122, M-124. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2015 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

13 | Métaux et métalloïdes. Méthode M-125. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2016 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

14 | NF ISO 15202-1 (NF X43-265-1). Air des lieux de travail - Détermination des métaux et métalloïdes dans les particules en suspension dans l'air par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif - Partie 1 : prélèvement d'échantillons. La Plaine Saint-Denis, AFNOR, 2020.

15 | NF ISO 15202-2 (NF X43-265-2). Air des lieux de travail - Détermination des métaux et métalloïdes dans les particules en suspension dans l'air par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif - Partie 2 : préparation des échantillons. La Plaine Saint-Denis, AFNOR, 2020.

16 | NF X 43-275. Dosage d'éléments présents dans les particules d'aérosols par spectrométrie atomique. La Plaine Saint-Denis, AFNOR, 2002.

17 | Aérosols en fraction inhalable. Méthodes M-264, M-279. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2016 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

18 | Aérosols en fraction alvéolaire. Méthodes M-277, M-278, M-281 In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2016 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

19 | Aérosols en fraction inhalable. Méthode M-274. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2016 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html**).

20 | Elements by ICP (Microwave Digestion). Method 7302. In : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 5th edition. NIOSH, 2014 (**https://www.cdc.gov/niosh/nmam/**).

21 | Boron. Toxicological profiles. ATSDR, 2010 (**https://www.atsdr.cdc.gov/**).

22 | Draize JH et Kelley EA - The urinary excretion of boric acid preparations following oral administration and topical applications to intact and damaged skin of rabbits. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1959 ; 1 : 267-276.

23 | Ku WW, Chapin RE, Moseman RF, Brink RE *et al.* – Tissue disposition of boron in male fischer rats. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1991 ; 111(1) : 145-151.

24 | Vaziri ND, Oveisi F, Dwight Culver B, Pahl MV *et al.* – The effect of pregnancy on renal clearance of boron in rats given boric acid orally. *Toxicol Sci*. 2001 ; 60 : 257-263.

25 | Boric acid. IMAP Single Assessment Report. NICNAS, 2018 (**https ://nicnas.gov.au/**).

26 | Boron. Environmental Health Criteria Monographs EHC 204. IPCS INCHEM, 1998 (**http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm**).

27 | Murray FJ – A human health risk assessment of boron (boric acid and borax) in drinking water. *Reg Toxicol Pharmacol*. 1995 ; 22 : 221-230.

28 | Dourson M, Maier A, Meek B, Renwick A *et al.* – Boron tolerable intake. Re-evaluation of toxicokinetics for date-derived uncertainty factors. *Biol Trace Elem Res*. 1998 ; 66 : 453-463.

29 | Wester RC, Hui X, Hartway T, Maibach HJ *et al.* – In vivo percutaneous absorption of boric acid, borax, and disodium octaborate tetrahydrate in humans compared to in vitro absorption in human skin form infinite and finite doses. *Toxicol Sci*. 1998 ; 45 : 42-51.

30 | Bore et composés inorganiques. In : BIOTOX. INRS, 2021 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html**).

31 | Ku WW, Chapin RE, Wine RN et Gladen BC – Testicular toxicity of boric acid (BA) : relationship of dose to lesion development and recovery in the F344 rat. *Reprod Toxicol*. 1993 ; 7 : 305-319.

32 | Weir RJ et Fischer R - Toxicologic studies on borax and boric acid. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1972 ; 23 : 351-364.

33 | Abd-Elhakim YM, Hashem MM, Abo-El-Sooud K, Ali HA *et al.* – Involvement of tumor necrosis factor-α, interferon gamma-γ, and interleukins 1β, 6 and 10 in immunosuppression due to long-term exposure to five common food preservatives in rats. *Gene*. 2020 ; 742 : 144590.

34 | Toxicology and carcinogenesis studies of boric acid (CAS no 10043-35-3) in B6C3F1 mice (feed studies). NTP technical report series TR-324. US Department of Health and Human Services, 1987 (**https ://ntp.niehs.nih.gov/results/pubs/index.html**).

35 | Scientific Opinion on the re-evaluation of boric acid (E 284) and sodium tetraborate (borax) (E 285) as food additives. EFSA Journal 2013 ; 11(10) : 3407-3459.

36 | Avis de l'évaluation des risques sanitaires du bore dans les eaux destinées à la consommation humaine. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Anses, 2016 (**https://www.anses.fr/fr**).

37 | Arslan M, Topaktas M et Rencuzogullari E – The effects of boric acid on sister chromatid exchanges and chromosome aberrations in cultured human lymphocytes. *Cytotechnology*. 2008 ; 56 : 91-96.

38 | Hadrup N, Frederiksen M et Sharma AK – Toxicity of boric acid, borax and other boron containing compounds. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2021 ; 121 : 104873.

39 | Aktas S, Kum C e Aksoy M – Effects of boric acid feeding on the oxidative stress parameters in testes, sperm parameters and DNA damage in mice. *J Trace Elem Med Biol*. 2020 ; 58 : 126447.

40 | Turkez H, Geyikoglu F, Tatar A, Keles MS *et al.* – The effects of some boron compounds against heavy metal toxicity in human blood. *Exp Toxicol Pathol*. 2012 ; 64(1-2) : 93-101.

41 | Fukuda R, Hirode M, Mori I, Chatani F *et al.* – Collaborative work to evaluate toxicity on male reproductive organs by repeated doses studies in rats : 24) Testicular toxicity of boric acid after 2- and 4-week administration periods. *J Toxicol Sci*. 2000 ; 25(special issue) : 233-239.

42 | Kudo S, Tanase H, Yamasaki M, Nakao M *et al.* - Collaborative work to evaluate toxicity on male reproductive organs by repeated doses studies in rats : 23) A comparative 2- and 4-week repeated oral dose testicular toxicity study of boric acid in rats. *J Toxicol Sci*. 2000 ; 25(special issue) : 223-232.

43 | Fail PA, George JD, Seely JC, Grizzle TB *et al.* – Reproductive toxicity of boric acid in Swiss (CD-1) mice : assessment using the continuous breeding protocol. *Fund Appl Toxicol*. 1991 ; 17 : 225-239.

44 | Usuda K, Kono K, Orita Y, Dote T *et al.* - Serum and urinary boron levels in rats after single administration of sodium tétraborate. *Arch Toxicol*. 1998 ; 72 : 468-474.

45 | Fail PA, Chapin RE, Price CJ et Heindel JJ – General, reproductive, developmental and endocrine toxicity of boronated compounds. *Reprod Toxico*l. 1998 ; 12(1) : 1-18.

46 | Heindel JJ, Price CJ, Field EA, Marr MC *et al.* – Developmental toxicity of boric acid in mice and rats. *Fund Appl Toxicol.* 1992 ; 18 : 266-277.

47 | Price CJ, Strong PL, Marr MC, Myers CB *et al.* - Developmental toxicity NOAEL and postnatal recovery in rats fed boric acid during gestation. *Fund Appl Toxicol*. 1996a ; 32 : 179-193.

48 | Watson ATD, Sutherland VL, Cunny H, Piller-Pinsler L *et al.* – Postnatal effects of gestational and lactational gavage exposure to boric acid in the developing Sprague Dawley. *Toxicol Sci*. 2020 ; 176(1) : 65-73.

49 | Price CJ, Marr MC, Myers CB, Seely JC *et al.* – The developmental toxicity of boric acid in rabbits. *Fund Appl Toxicol*. 1996b ; 34 : 176-187.

50 | Treinen KA et Chapin RF – Development of testicular lesions in F344 rats after treatment with boric acid. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1991 ; 107 : 325-335.

51 | Nusier M et Bataineh HN – Effect of boric acid on fertility, aggressiveness and sex behaviour in male rats. *Asian J Chem*. 2005 ; 17(4) : 2579-2588.

52 | El-Dakdoky MH et Abd El-Wahab HMF – Impact of boric acid exposure at different concentrations on testicular DNA and male rats fertility. *Toxicol Mechanisms Methods*. 2013 ; 23(5) : 360-367.

53 | Fort DJ, Fort TD, Mathis MB et Ball RW - Boric acid is reproductively toxic to adult *Xenopus laevis* but not endocrine active. *Toxicol Sci*. 2016 ; 154(1) : 16-26.

54 | Kassotis CD, Tillitt DE, Davis JW, Hormann AM *et al.* – Estrogen and androgen receptor activities of hydraulic fracturing chemicals and surface and ground water in a drilling-dense region. *Endocrinology*. 2015 ; 155(3) : 897-907.

55 | Garabrant DH, Bernstein L, Peters JM, Smith TJ. Respiratory and eye irritation from boron oxide and boric acid dusts. J Occup Med. 1984 ;26(8) :584-6.

56 | Garabrant DH, Bernstein L, Peters JM, Smith TJ *et al.* Respiratory effects of borax dust. Br J Ind Med. 1985 ;42(12) :831-7.

57 | Hu X, Wegman DH, Eisen EA, Woskie SR *et al.* Dose related acute irritant symptom responses to occupational exposure to sodium borate dusts. Br J Ind Med. 1992 ;49(10) :706-13.

58 | Wegman DH, Eisen EA, Hu X, Woskie SR *et al.* Acute and chronic respiratory effects of sodium borate particulate exposures. Environ Health Perspect. 1994 ;102 Suppl 7(Suppl 7) :119-28.

59 | Falcy M. - Bore et composés. Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, pathologie professionnelle 16-002-B-20. Paris : Elsevier ; 2012.

60 | Baud F, Garnier R (Eds) - Toxicologie clinique. 6 e édition. Paris : Lavoisier Médecine-Sciences ; 2017 : 1654 p.

61 | Corradi F, Brusasco C, Palermo S, Belvederi G. A case report of massive acute boric acid poisoning. Eur J Emerg Med. 2010 ;17(1) :48-51.

62 | Culver BD, Strong PL et Murray JF - Boron. In : Bingham E, Cohrssen B, Powell CH (Eds)-. Patty's toxicology. 5 th ed., Volume 3. New York : John Wiley & Sons ; 2012 : 519-582.

63 | Testud F - Toxicologie médicale professionnelle et environnementale. 5 e édition. Paris : Éditions ESKA ; 2018 : 697 p.

64 | Jensen CD, Andersen KE. Allergic contact dermatitis from a condensate of boric acid, monoethanolamine and fatty acids in a metalworking fluid. Contact Dermatitis. 2003 ;49(1) :45-6.

65 | Bruze M, Hradil E, Eriksohn IL, Gruvberger B *et al.* Occupational allergic contact dermatitis from alkanolamineborates in metalworking fluids. Contact Dermatitis. 1995 ;32(1) :24-7.

66 | Başaran N, Duydu Y, Üstündağ A, Taner G *et al.* Environmental boron exposure does not induce DNA damage in lymphocytes and buccal cells of females : DNA damage in lymphocytes and buccal cells of boron exposed females. J Trace Elem Med Biol. 2019 ;53:150-153.

67 | Başaran N, Duydu Y, Üstündağ A, Taner G *et al.* Evaluation of the DNA damage in lymphocytes, sperm and buccal cells of workers under environmental and occupational boron exposure conditions. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen. 2019 ;843:33-39.

68 | Korkmaz M, Uzgören E, Bakirdere S, Aydin F *et al.* Effects of dietary boron on cervical cytopathology and on micronucleus frequency in exfoliated buccal cells. Environ Toxicol. 2007 ;22(1) :17-25.

69 | Cöl M, Cöl C, Soran A, Sayli BS *et al.* Arsenic-related Bowen's disease, palmar keratosis, and skin cancer. Environ Health Perspect. 1999 ;107(8) :687-9.

70 | Acide borique, tétraborate de disodium anhydre. Fiches DEM 106, DEM 127. In : DEMETER. INRS, 2010 (**https://www.inrs.fr/publications/bdd/demeter.html**).

71 | Whorton D, Haas J, Trent L. Reproductive effects of inorganic borates on male employees : birth rate assessment. Environ Health Perspect. 1994 ;102 Suppl 7(Suppl 7) :129-32.

72 | Scialli AR, Bonde JP, Brüske-Hohlfeld I, Culver BD *et al.* An overview of male reproductive studies of boron with an emphasis on studies of highly exposed Chinese workers. *Reprod. Toxicol.,* 2010 ; 29 : 1024.

73 | Robbins WA, Xun L, Jia J, Kennedy N *et al.* Chronic boron exposure and human semen parameters. Reprod Toxicol. 2010 ;29(2) :184-90.

74 | Korkmaz M, Yenigün M, Bakırdere S, Ataman OY *et al.* Effects of chronic boron exposure on semen profile. Biol Trace Elem Res. 2011 ;143(2) :738-50.

75 | Başaran N, Duydu Y, Bolt HM. Reproductive toxicity in boron exposed workers in Bandirma, Turkey. J Trace Elem Med Biol. 2012 ;26(2-3) :165-7.

76 | Duydu Y, Başaran N, Üstündağ A, Aydin S *et al.* Reproductive toxicity parameters and biological monitoring in occupationally and environmentally boron-exposed persons in Bandirma, Turkey. Arch Toxicol. 2011 ;85(6) :589-600.

77 | Duydu Y, Başaran N, Aydın S, Üstündağ A *et al.* Evaluation of FSH, LH, testosterone levels and semen parameters in male boron workers under extreme exposure conditions. Arch Toxicol. 2018 ;92(10) :3051-3059.

78 | Bolt HM, Başaran N, Duydu Y. Effects of boron compounds on human reproduction. Arch Toxicol. 2020 ;94(3) :717-724.

79 | Duydu Y, Başaran N, Yalçın CÖ, Üstündağ A *et al.* Boron-exposed male workers in Turkey : no change in sperm Y :X chromosome ratio and in offspring's sex ratio. Arch Toxicol. 2019 ;93(3) :743-751.

80 | Chang BL, Robbins WA, Wei F, Xun L *et al.* Boron workers in China : exploring work and lifestyle factors related to boron exposure. AAOHN J. 2006 ;54(10) :435-43.

81 | Principes généraux de ventilation. Guide pratique de ventilation ED 695. INRS (**https://www.inrs.fr**).

82 | Signalisation de santé et de sécurité au travail - Réglementation. Brochure ED 6293. INRS (**https://www.inrs.fr**).

83 | 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**).

84 | 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**).

85 | 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**).

86 | Risques chimiques ou biologiques. Retirer ses gants en toute sécurité. Gants à usage unique. Dépliant ED 6168. INRS (**https://www.inrs.fr**).

87 | Risques chimiques ou biologiques. Retirer ses gants en toute sécurité. Gants réutilisables. Dépliant ED 6169. INRS (**https://www.inrs.fr**).

88 | Les appareils de protection respiratoire - Choix et utilisation. Brochure ED 6106. INRS (**https://www.inrs.fr**).

89 | Des gants contre le risque chimique. Fiche pratique de sécurité ED 112. INRS (**https://www.inrs.fr**).

90 | Forsberg K, Den Borre AV, Henry III N, Zeigler JP – Quick selection guide to chemical protective clothing. 7 th ed. Hoboken : John Wiley & Sons ; 293 p.

91 | Acide borique. In : ProtecPo Logiciel de pré-sélection de matériaux de protection de la peau. INRS-IRSST, 2011 (**https://protecpo.inrs.fr/ProtecPo/jsp/Accueil.jsp**).

92 | Quels vêtements de protection contre les risques chimiques. Fiche pratique de sécurité ED 127. INRS (**https://www.inrs.fr**).

93 | Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage - Choix et utilisation. Brochure ED 798. INRS (**https://www.inrs.fr**).

94 | Equipements de premiers secours en entreprise : douches de sécurité et lave-œil. Fiche pratique de sécurité ED 151. INRS (**https://www.inrs.fr**).

Historique des révisions

1 re édition	1988
2 e édition (mise à jour complète)	2007
3 e édition (mise à jour complète)	2011
4 e édition (mise à jour complète)	Mars 2022