

(ID Modèle = 2077342)

Bore et ses composés

L'objectif des fiches technico-économiques (FTE) est de décrire les enjeux posés en France par la réduction ou la suppression des émissions dans l'eau, et par la substitution de substances chimiques largement utilisées ou retrouvées dans les milieux aquatiques.

Elles présentent la réglementation de la substance, dressent un bilan de sa présence dans l'environnement, et de ses usages, dont elles situent l'importance économique.

Enfin, elles recensent les moyens de réduction des rejets (substitution, traitement...).

Ces fiches sont établies à partir de recherches bibliographiques et peuvent être complétées par des enquêtes auprès d'institutions techniques professionnelles, d'experts et d'acteurs industriels.

Responsable du programme : Jean-Marc BRIGNON

Expert ayant participé à la rédaction : Valentin CHAPON - Maryse MARLIERE

Veillez citer ce document de la manière suivante :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Bore et ses composés, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 204028 - v1.0, 13/01/2023.

Résumé

Nom	C.A.S.	Usages principaux	Substance prioritaire dans le domaine de l'eau (DCE)	Substance soumise à autorisation dans Reach	Substance soumise à restriction dans Reach	Substance extrêmement préoccupante (SVHC)
Bore	7440-42-8	<p>Usages principaux (borates) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Production de verres borosilicatés - Production de détergents de savons et d'engrais <p>Autres usages (des borates) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Production de fluides réfrigérants - Production de fluides d'usinage - Production de lubrifiants pour métaux - Production d'adhésifs - Production de biocides (acide borique uniquement) - Retardateur de flamme dans les isolations en cellulose - Production de peintures et de revêtements - Production d'aérosols - Utilisé en métallurgie pour dissoudre les oxydes métalliques - Additif dans les carburants - Utilisés pour la production de bétons et ciments - Colorant pour la production de feux d'artifice - Catalyseur pour la réduction de production du nylon - Additif alimentaire (caviar) - Production de ferrobores - Production de jeux « slimes » ... 	Non	Perborate de sodium et acide perborique, sel de sodium de n° Cas 15120-21-5, 11138-47-9, 12040-72-1, 13517-20-9, 37244-98-7, 10486-00-7, 10332-33-9 et 7632-04-	<p>Oui pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acide borique - Oxyde de bore - Tétraborate de disodium (hydraté et anhydre) - Acide orthoborique, sel de sodium - Tétraborate de disodium décahydrate - Tétraborate de disodium, pentahydrate - Perborate de sodium - Acide perborique, sel monosodique trihydrate - Péroxométaborate de sodium - Acide perborique, sel de sodium, hexahydrate - Perborate de sodium, monohydraté - Acide perborique, sel de sodium, tétrahydrate - Acide perborique, sel de sodium - Octaborate de disodium anhydre - Octaborate de disodium tétrahydrate 	<p>Oui pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acide borique - Oxyde de bore ; Tétraborate de disodium (hydraté et anhydre) - Acide orthoborique, sel de sodium - Tétraborate de disodium décahydrate - Tétraborate de disodium, pentahydrate - Perborate de sodium - Acide perborique, sel monosodique, trihydrate - Péroxométaborate de sodium - Acide perborique, sel de sodium, hexahydrate - Perborate de sodium, monohydraté - Acide perborique, sel de sodium, tétrahydrate - Acide perborique, sel de sodium - Octaborate de disodium anhydre - Octaborate de disodium tétrahydrate

Volume de production - France	Volume de production - UE	Volume de production - Monde	Volume de consommation - Europe	Part de la consommation dédiée à l'usage principal en France
Pas d'information	Pas d'information	2,1 millions de tonnes de borates (B ₂ O ₃)	t/an (2016)	0,3 millions de tonnes de (B ₂ O ₃)
			t/an (2010)	Inconnu

Présence dans l'environnement - France	
Eaux de surface	<p>La base de données Naiades recense, entre 2017 et 2019, 10 535 analyses de bore dans des eaux. 10 507 analyses sont qualifiées de correctes. Parmi ces mesures, 9 125 (soit 87%) présentent des concentrations de bore supérieures à la limite de quantification comprise entre 0,005 et 10 µg/L. La concentration médiane en bore est de 14 µg/L. La valeur du 75^{ème} percentile est 21 µg/L et la valeur du 95^{ème} percentile est 42,9 µg/L. La concentration maximale en bore s'élevait à 5 128µg/L.</p> <p>Entre 2017 et 2019 la base de données Naiades recense 980 analyses du bore sur les supports sédiment et matières en suspension et 968 sont qualifiées de correctes. Parmi celles-ci, 593 mesures (soit 61%) présentent des concentrations de bore supérieures à la limite de quantification comprise entre 1 et 37,8 mg/kg. La concentration médiane s'élève à 11,5 mg/kg. La valeur du 75^{ème} percentile est 33,5 mg/kg et la valeur du 95^{ème} percentile est 81,7 mg/kg. La concentration maximale s'élevait à 771 mg/kg.</p>
Eaux souterraines	<p>La base de données ADES recense, entre 2017 et 2019, 14 359 points d'eau analysés et 26 642 analyses. Parmi celles-ci, 18 672 mesures (soit 70%) présentent des concentrations supérieures à la limite de quantification comprise entre 0 et 5 µg/L. La concentration médiane s'élève à 14,4 µg/L. La valeur du 75^{ème} percentile est 29,9 µg/L et la valeur du 95^{ème} percentile est 89µg/L. La concentration maximale s'élevait à 720 000 µg/L (720 mg/L).</p>
Air	Pas d'information
Sols	<p>Le bore est naturellement présent dans l'environnement, majoritairement sous forme minerais de borates (borax, kernite, colémanite, ulexite). Les minerais de borates ne sont pas répartis de manière homogène sur la terre. Les principaux dépôts de borates sont proches des zones de convergence des plaques où l'activité volcanique a été forte avec un environnement évaporite¹ non marin.</p> <p>La présence de bore dans le sol est en moyenne de 3 ppm (ou g/t) dans la croûte terrestre, 10 ppm dans la croûte continentale.</p>

Le bore, de symbole B et numéro atomique 5, est un élément qui appartient au groupe III A du tableau périodique des éléments et a un état d'oxydation de +3. C'est un élément non métallique semi-conducteur dont les propriétés chimiques sont intermédiaires entre celles des métaux et des métalloïdes. Le bore est un puissant réducteur, capable de se combiner notamment aux métaux, à l'oxygène, à l'azote et au carbone. Il possède deux isotopes ¹⁰B et ¹¹B.

L'élément bore n'existe pas seul dans la nature, on le retrouve notamment combiné avec de l'oxygène, ou dans des sels appelés borates. Par définition les borates sont des sels ou esters de l'acide borique H₃BO₃. Les gisements de borates exploitables sont principalement situés en Turquie (70% des réserves mondiales), aux Etats-Unis, dans le massif andin et au Tibet. Il n'y a pas de mines de borates en France. Quatre minéraux fournissent 90% de la production mondiale de borates ; il s'agit du borax, la kernite, la colémanite, l'ulexite. Les réserves mondiales connues de borates en 2000 étaient de 363 000 millions de tonnes de B₂O₃.

Plusieurs centaines d'usages du bore et ses composés sont référencées dans la littérature mais une très grande partie de ces usages concerne les borates. Pour cette raison les usages présentés dans cette fiche technico-économique se réfèrent presque exclusivement aux usages de cette famille. Les borates sont utilisés en majorité pour la production de verres et de céramiques, la production d'engrais et la production de savons et de détergents. Depuis peu, la consommation de borates pour la production de savons et de détergents a très fortement diminué en Europe au profit du percarbonate de sodium. Les borates ont des usages très diversifiés du fait de également diversement utilisés pour leurs propriétés : retardateurs de flamme, produits anticorrosion, antioxydants et stabilisateurs de pH, biocides, colorants ... Enfin les borates sont également utilisés dans le secteur nucléaire notamment dans les circuits primaires (au contact avec le combustible) pour absorber les neutrons émis par les réactions de fission.

Dans le cadre de ce travail, nous n'avons pas identifié dans la bibliographie de substituts aux borates utilisés dans le secteur du verre et pour la production d'engrais. Cette absence de substituts aux borates dans le secteur du verre a été confirmée par enquête auprès d'experts.

Les sources d'émissions anthropiques de bore et de ses composés seraient les utilisations de détergents et savons, les centrales à charbon, les fonderies de cuivre, les industriels utilisant du bore

¹ Dépôt riche en chlorures et sulfates alcalins, qui précipitent, par sursaturation due à l'évaporation, dans les lagunes et les bassins au bilan hydrologique très déficitaire Larousse (2020).

dans leurs procédés de production ainsi que l'agriculture avec l'utilisation d'engrais contenant du bore. Selon la littérature consultée, le niveau d'abattement des STEU conventionnelles pour le bore et ses composés est très faible. La France ne disposant pas de mines de borates, la question des émissions de borates depuis les mines en activités ou à l'arrêt n'a pas été approfondie.

Les trois sources d'émissions vers l'atmosphère les plus importantes sont l'évaporation marine, les éruptions volcaniques et les émissions industrielles.

Abstract

Boron, symbol B and atomic number 5, is an element that belongs to group III A of the periodic table of elements and has an oxidation state of +3. It is a non-metallic semi-conducting element with chemical properties intermediate between those of metals and metalloids. Boron is a powerful reductant, capable of combining with metals, oxygen, nitrogen and carbon, among others. It has two isotopes, ^{10}B and ^{11}B .

The element boron does not exist freely in nature, it is found combined with oxygen or salts called borates. Exploitable borate deposits are mainly located in Turkey (70% of the world's reserves), in the United States, in the Andean Mountains and in Tibet. There are no borate mines in France. Four minerals provide 90% of the world's borate production: borax, kernite, colemanite and ulexite. Known world reserves of borates in 2000 were 363,000 million tons of B_2O_3 .

Several hundred uses of boron and its compounds are referenced in the literature but a very large proportion of these uses are related to borates. For this reason, the uses presented in this factsheet refer almost exclusively to uses of this family of substances. Borates are mainly used for the production of glass and ceramics, the production of fertilizers and the production of soaps and detergents. Nevertheless recently, the consumption of borates for the production of soaps and detergents in Europe has decreased significantly in favor of sodium percarbonate. Borates are also used for their flame retardant, anticorrosion and antioxidant properties and as pH stabilizers, biocides, dyes, etc. Finally, borates are also used in the nuclear sector, particularly in primary circuits (in contact with the fuel) to absorb the neutrons emitted by fission reactions.

Within the framework of this work, we have not identified in the literature any substitutes for borates used in the glass sector or for the production of fertilizers. The absence of alternatives to borates in the glass sector was confirmed by a survey of experts.

The sources of anthropogenic emissions of boron and its compounds would be the use of detergents and soaps, coal-fired power plants, copper smelters, industries using boron in their production processes and agriculture with the use of fertilizers containing boron. According to the literature consulted, the abatement of boron and its compounds by conventional WWTPs is very low. As France does not have any borate mines, we did not investigate the issue of borate emissions from mines.

There are also non-anthropogenic emissions of boron, notably to the atmosphere compartment, for which the main sources are marine evaporation and volcanic eruptions. Industrial emissions represent the third most important emissions through this compartment.

Table des matières

1	Glossaire.....	9
2	Généralités	9
2.1	Définition et caractéristiques chimiques	9
GB:	Sodium perborate monohydrate, perboric acid, sodium salt, monohydrate	11
2.2	Données toxicologiques et écotoxicologiques.....	14
2.3	Réglementation	14
2.3.1	Textes généraux.....	14
2.3.2	Règlementations sectorielles.....	15
2.4	Valeurs et normes appliquées en France.....	18
2.4.1	Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées	18
2.4.2	Normes de qualité environnementale (NQE) et valeur guide environnementale (VGE)	19
2.4.3	Valeurs appliquées en milieu professionnel	19
2.4.4	Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation	20
2.5	Autres textes.....	21
2.5.1	Eaux de rejet.....	21
2.5.2	Eaux souterraines.....	21
2.5.3	Eaux de surface.....	21
2.5.4	Produits phytosanitaires dans l'alimentation	21
2.5.5	Contact alimentaire.....	21
2.5.6	Réglementation extra européenne	21
2.6	Classification et étiquetage.....	21
2.7	Sources naturelles de bore et ses composés	23
2.8	Sources non-intentionnelles de bore et ses composés.....	23
3	Production et utilisations.....	23
3.1	Production et vente.....	23
3.1.1	Données économiques	23
3.1.2	Procédés de production.....	24
3.1.3	Noms commerciaux du Bore	25
3.2	Utilisations	25
3.2.1	Variété d'utilisations.....	25
3.2.2	Utilisation des borates	26
3.2.3	Utilisations du Bore élémentaire.....	32
3.2.4	Synthèse des utilisations	33
4	Rejets dans l'environnement	33
4.1	Émissions anthropiques totales.....	33
4.2	Émissions atmosphériques.....	33
4.3	Émissions vers les eaux	33
4.4	Émissions vers les sols	33
4.5	Pollutions historiques et accidentelles.....	33
5	Devenir et présence dans l'environnement	35

5.1	Comportement dans l'environnement	35
5.1.1	Dans l'atmosphère.....	35
5.1.2	Dans le milieu aquatique	35
5.1.3	Dans le milieu terrestre.....	35
5.2	Présence dans l'environnement	35
5.2.1	Dans le milieu aquatique	36
5.2.2	Dans les eaux souterraines	36
5.2.3	Dans le sol	36
5.2.4	Dans l'atmosphère.....	36
6	Perspectives de réduction des émissions	36
6.1	Réduction des émissions de Bore.....	36
6.2	Alternatives aux usages des Borates	36
6.2.1	Production de verres	37
6.2.2	Fibres de verre.....	37
6.2.3	Emaux et frites de verre	37
6.2.4	Engrais.....	37
6.2.5	Savons et détergents.....	37
6.2.6	Isolation en cellulose	37
6.2.7	Adhésif.....	37
6.2.8	Alternatives à d'autres utilisations des borates	38
6.3	Alternatives à certaines utilisations du bore élémentaire	38
7	Conclusion.....	38
8	Références	39
8.1	Bibliographie.....	39

1 Glossaire

CE	Commission Européenne
CMR	Cancérogène Mutagène Reprotoxique
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
NQE	Norme de Qualité Environnementale
SVHC	« Substances of Very High Concern », substances extrêmement préoccupantes
VGE	Valeur Guide Environnementale

2 Généralités

2.1 Définition et caractéristiques chimiques

Le bore, de symbole B et numéro atomique 5, est un élément qui appartient au groupe III A du tableau périodique des éléments et a un état d'oxydation de +3. C'est un élément non métallique semi-conducteur dont les propriétés chimiques sont intermédiaires entre celles des métaux et des métalloïdes. Le bore est un puissant réducteur, capable de se combiner notamment aux métaux, à l'oxygène, à l'azote et au carbone. Il possède deux isotopes ^{10}B et ^{11}B (US EPA 2008, Blazy P. and Jdid E.A. 2011, Falcy 2012).

Les composés du bore résultent de sa très forte réactivité.

Dans l'eau, le bore forme des composés chimiques stables et est principalement présent sous forme d'acide borique (H_3BO_3) et de borates en fonction du pH. Par définition les borates sont des sels ou esters de l'acide borique H_3BO_3 .

L'oxyde borique B_2O_3 provient de la déshydratation de l'acide borique (H_3BO_3). Il se combine avec les oxydes métalliques pour donner des métaborates. L'attaque de l'oxyde borique par les acides phosphorique et arsénique donne respectivement le phosphate et l'arséniat de bore.

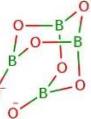
Avec les halogènes, le bore donne des tri-halogénures (BF_3 , BCl_3 , BBr_3 et BI_3). Le composé BF_3 forme un plus grand nombre de complexes que les autres tri-halogénures.

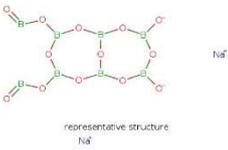
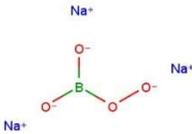
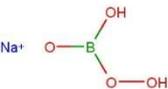
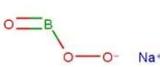
Les composés organiques du bore sont obtenus en traitant BF_3 par un composé organomagnésien approprié. On connaît des dérivés trialkyles à partir desquels on obtient des acides alkylboriques (encore appelés acides boroniques) et des dérivés aromatiques correspondants.

Il existe de nombreux hydrures de bore, appelés aussi boranes, dont les plus connus sont : le diborane B_2H_6 ; le pentaborane B_5H_9 ; le décaborane $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$.

Le tableau 2, présente les principaux composés du bore identifiés dans la littérature. Une attention particulière a été portée aux borates qui concentrent par rapport à l'ensemble des composés du bore plus de 99 % des usages (ELEMENTARIUM 2021). Il n'a pas été possible de présenter tous les composés du bore, en effet en effectuant des recherches sur le site de l'ECHA avec les mots clés : « borate », « boron » et « boric », ont été respectivement retrouvées environ 1300, 2000, 420 substances chimiques.

Tableau 1. Caractéristiques générales du bore et de certains de ses composés, d'après (ATSDR 2010, INRS 2011, INRS 2012, INRS 2014, PubChem 2021, Reptox 2021, ECHA 2022).

Substances chimiques	N° CAS	N° EINECS	Code Sandre	Synonyme	Formes physiques
Bore B	7440-42-8	231-151-2	1362	GB: boron, borane.	Amorphe : poudre brune Métallique : cristaux rhomboédriques durs et noirs
Borates					
Acide borique HBO ₃ 	10043-35-3 11113-50-1	233-139-2 234-343-4	5919	FR : acide orthoborique, acide boracique, trihydroxyde de bore GB: boric acid, boron hydroxide, orthoboric acid, boron trihydroxide	Poudre ou granulés blancs
Acide orthoborique, sel de sodium BNaO ₃ ⁻² Na ⁺ 	13840-56-7	237-560-2	-	FR: acide borique, sel de sodium GB: Orthoboric acid, sodium salt ; Boric acid (H ₃ BO ₃), sodium salt	Poudre
Oxyde de bore B ₂ O ₃ 	1303-86-2	215-125-8	-	FR: Sesquioxyde de bore, trioxyde de dibore GB: boric oxide, boron trioxide, boron sesquioxide, diboron trioxide	Cristaux incolores vitreux ou hexagonal
Tétraborate de disodium anhydre Na ₂ B ₄ O ₇ Na ⁺ Na ⁻ 	1330-43-4	215-540-4	-	FR : Borax anhydre ; acide borique, sel de disodium GB: Sodium tetraborate, Sodium borate, sodium borate anhydrous, disodium tetraborate, sodium diborate, sodium pyroborate, boric acid disodium salt	Poudre ou cristaux blancs, solide amorphe
Tétraborate de di sodium hydraté Na ₂ B ₄ O ₇ * nH ₂ O (n=1,5-2)	12267-73-1	235-541-3	-	FR: Heptaoxyde de tétrabore et de disodium, hydraté GB: Tetraboron disodium heptaoxide, hydrate di-sodium tetraborate	Poudre, granulés ou cristaux blancs
Tétraborate de disodium pentahydraté Na ₂ B ₄ O ₇ , 5 H ₂ O	12179-04-3	215-540-4	-	FR: Borax pentahydraté, borax hémihydraté GB: disodium tetraborate pentahydrate	Poudre, granulés ou cristaux blancs
Tétraborate de disodium décahydraté B ₄ Na ₂ O ₇ , 10 H ₂ O	1303-96-4	233-139-2	-	FR: Borax, Borax décahydraté GB: sodium borate, sodium tetraborate, disodium tetraborate decahydrate	Poudre, granulés ou cristaux blancs

Substances chimiques	N° CAS	N° EINECS	Code Sandre	Synonyme	Formes physiques
Octaborate de disodium anhydre $B_8Na_2O_{13}$ 	12008-41-2	234-541-0	-	Disodium octaborate anhydrous	Cristaux blancs
Octaborate de disodium tétrahydrate $B_8Na_2O_{13}, 4H_2O$	12280-03-4	244-541-0	-	Disodium octaborate tetrahydrate Disodium; boron; oxygen(Bauer); tetrahydrate	Cristaux blancs
Perborate de sodium BNa_3O_4 	15120-21-5	239-172-9	-	FR: Acide perborique, sel de sodium GB : Perboric acid, monosodium salt; sodium perborate, Sodium peroxometaborate	Solide blanc cristallisé
Acide perborique, sel de sodium BH_2NaO_4 	11138-47-9 12040-72-1	234-390-0	-	GB: Perboric acid, sodium salt	Solide blanc cristallisé
Péroxoborate de sodium $NaBO_3$ 	7632-04-4	231-556-4	-	FR: Perborate de sodium EN: Perboric acid (HBO(O2)), sodium salt (1:1) perboric acid, sodium salt Sodium perborate tetrahydrate	Solide blanc cristallisé
Perborate de sodium monohydrate $NaBO_3.H_2O$	10332-33-9	600-419-4	-	FR: Péroxyborate de sodium GB: Sodium perborate monohydrate, perboric acid, sodium salt, monohydrate	Solide blanc cristallisé
Acide perborique, sel de sodium, tétrahydraté H_8BNaO_7	10486-00-7	231-556-4	-	FR: Perborate de sodium tétrahydraté, Sodium peroxyborate tétrahydraté GB : Perboric acid, sodium salt, tetrahydrate, Sodium perborate tetrahydrate	Solide blanc cristallisé

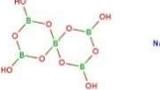
Substances chimiques	N° CAS	N° EINECS	Code Sandre	Synonyme	Formes physiques
Pentaborate de sodium Anhydre : B_5NaO_8  Décahydraté : $Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10 H_2O$	12007-92-0	234-522-7	-	FR: Octaoxyde de pentabore et de sodium GB: Sodium pentaborate , pentaboron sodium octaoxide, pentaboron sodium octaoxide, anhydrous	Solide
Borate de zinc $B_4O_9Zn_3$	1332-07-6	215-566-6	-	GB: Zinc borate	Cristaux gris noirâtres
Borate de baryum B_2BaO_4	13701-59-2	237-222-4	-	GB: Barium borate, barium metaborate, barium boron oxidebarium(2+); oxido(oxo)borane	Poudre blanche
Lithium Tétraborate de lithium	12007-60-2	234-514-3	-	GB : Lithium tetraborate	Poudre blanche
Borate de N-didécy-N-dipolyéthoxyammonium/ borate de didécylpolyoxéthylamm onium (bétaine polymère)	214710-34-6	695-923-4	-	GB: N-Didecyl-N-dipolyethoxyammonium borate/Didecylpolyoxethylammonium borate (Polymeric betaine)	Liquide brunâtre
Autres composés du bore					
Diborane B_2H_6	19287-45-7	242-940-6	-	FR :Boroéthane, hydruure de bore GB : Diborane	Gaz incolore
Décaborane $B_{10}H_{14}$	17702-41-9	241-711-8	-	GB: Decaborane, decaboron tetradecahydride	Cristaux blancs
Pentaborane B_5H_9	19624-22-7	243-194-4	-	GB: Pentaborane, pentaboron nonahydride	Liquide incolore volatil
Tribromure de bore BBr_3	10294-33-4	233-657-9	-	FR: bromure de bore GB: boron tribromide, Boron bromide, tribromo-borane, tribromoboron	Liquide incolore
Trifluorure de bore BF_3	7637-07-2	231-569-5	-	FR: fluorure de bore GB: Boron trifluoride, boron fluoride, trifluoroborane	Gaz incolore
Trichlorure de bore BCl_3	10294-34-5	233-658-4	-	FR: chlorure de bore GB: boron trichloride, Trichloroborane, trichloroboron	Gaz incolore à odeur piquante

Tableau 2. Propriétés chimiques du bore et de certains de ses composés, d'après (ATSDR 2010, INRS 2011, INRS 2012, INRS 2014, PubChem 2021, Reptox 2021, ECHA 2022).

Substances chimiques	Solubilité	Réactivité	Décomposition
Bore B	Insoluble dans l'eau Soluble dans les acides nitrique ou sulfurique concentrés	Réducteur extrêmement énergétique, peut réagir facilement avec les métaux, les composés oxygénés, sulfurés, halogénés, azotés...	Les poussières peuvent s'enflammer spontanément
Acide borique 10043-35-3 11113-50-1	Modérément soluble dans l'eau : 4,72 % en poids à 20°C et pH 3,7 Soluble dans les solvants : 175 à 225 g.L ⁻¹ (méthanol) 95 g.L ⁻¹ (éthanol) 17,5 g.L ⁻¹ (glycerol) 1,5 g.L ⁻¹ (acétate d'éthyle) 0,6 % (acetone)	Peut réagir de manière explosive avec l'anhydride acétique ou le potassium	Se décompose vers 100°C en se transformant en acide métaborique ; à température plus élevée se forme de l'oxyde borique
Oxyde de bore 1303-86-2	4 % à 20°C dans l'eau Soluble dans l'alcool et le glycérol	Corrosif pour les métaux en présence d'oxygène Formation d'acide borique en présence d'eau	Formation d'acide borique en présence d'eau
Tétraborate de disodium 1330-43-4 12179-04-3 1303-96-4	Modérément soluble dans l'eau à 20°C Anhydre : 27 g.L ⁻¹ Pentahydraté : 40 g.L ⁻¹ Décahydraté : 49,7 g.L ⁻¹	Formation d'acide borique en présence d'eau	Anhydre : stable jusqu'à 524-527 °C, fond à 750 °C, se décompose à 1575°C
Octaborate de disodium 12008-41-2 12280-03-4	Soluble dans l'eau Tétrahydraté : 9,7 % à 20°C, 34 % à 50°C	Réagit avec les réducteurs forts (hydrures métalliques ou les métaux alcalins) en libérant de l'hydrogène gazeux inflammable	Non disponible
Perborates de sodium 10332-33-9 10486-00-7	Monohydraté : 13 g.L ⁻¹ à 16°C Tétrahydraté : 20 g.L ⁻¹ à 16°C	En solution dans l'eau, les perborates se comportent comme une solution d'eau oxygénée et en possèdent les caractéristiques oxydantes ou réductrices suivant le pH	Pollués par des impuretés ou portés à haute température, les perborates se décomposent avec dégagement d'oxygène, formation d'eau, échauffement et prise en masse
Boranes 19287-45-7 17702-41-9 19624-22-7	Peu solubles dans l'eau, solubles dans les hydrocarbures	Les boranes sont des produits peu stables, très réactifs. Agents réducteurs puissants, ils peuvent réagir violemment avec les produits oxydants et les halogènes. Avec l'air ou l'oxygène, les boranes peuvent s'enflammer spontanément. Ils brûlent avec formation d'oxyde de bore et d'eau. Le mélange des boranes avec les solvants halogénés ou oxygénés peut exploser spontanément ou sous l'effet d'un choc. Avec les métaux réactifs tels que l'aluminium et le lithium, le diborane donne des hydrures qui peuvent s'enflammer spontanément. Les boranes attaquent la plupart des caoutchoucs et matières plastiques.	Diborane : se décompose lentement dès la température ambiante, plus rapidement à température élevée, en hydrogène et hydrures de bore supérieurs. Pentaborane : commence à se décomposer lentement à 150 °C. Décaborane : se décompose en bore et hydrogène vers 300°C.

2.2 Données toxicologiques et écotoxicologiques

Des données toxicologiques et écotoxicologiques pour le bore et ses composés sont disponibles dans le Portail Substances Chimiques :

- Pour le bore et ses composés inorganiques : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/526>
- Pour le diborane : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/4143>
- Pour le pour le décaborane : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/4142>
- Pour le pentaborane : <https://substances.ineris.fr/fr/substance/4144>

2.3 Réglementation

Les paragraphes ci-après présentent les principaux textes en vigueur à la date de la rédaction de cette fiche encadrant la fabrication, les usages et les émissions du bore et ses composés. Cet inventaire n'est pas exhaustif. Une recherche de la réglementation des boranes, du tribromure de bore, du trifluorure de bore et du trichlorure de bore a été réalisée mais aucun texte n'a été identifié.

2.3.1 Textes généraux

2.3.1.1 Classification CMR

Les composés du bore classés pour leur toxicité pour la reproduction (catégorie 1B) conformément à l'annexe VI du règlement (CE) n° 1272/2008 (CLP) sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3. Liste des composés du bore classés CMR (1B) dans le cadre du règlement CLP

Substances chimiques	N° CAS	N° EINECS
Acide borique	10043-35-3	233-139-2
	11113-50-1	234-343-4
Oxyde de bore	1303-86-2	215-125-8
Tétraborate de disodium, hydrate	12267-73-1	235-541-3
Acide orthoborique, sel de sodium	13840-56-7	237-560-2
Tétraborate de disodium, anhydre	1330-43-4	215-540-4
Tétraborate de disodium décahydrate	1303-96-4	215-540-4
Tétraborate de disodium, pentahydrate	12179-04-3	215-540-4
Perborate de sodium	15120-21-5	239-172-9
Acide perborique, sel monosodique, trihydrate	13517-20-9	239-172-9
Péroxométaborate de sodium	7632-04-4	231-556-4
Acide perborique, sel de sodium, hexahydrate	10486-00-7	231-556-4
Perborate de sodium, monohydraté	10332-33-9	600-419-4
Acide perborique, sel de sodium, tétrahydrate	37244-98-7	234-390-0
Acide perborique, sel de sodium	11138-47-9	234-390-0
	12040-72-1	
Octaborate de disodium anhydre	12008-41-2	234-541-0
Octaborate de disodium tétrahydrate	12280-03-4	234-541-0

Le 28 mai 2021, la Commission européenne a publié le règlement délégué (UE) 2021/849 de la Commission modifiant le règlement CLP (CE) n° 1272/2008 pour supprimer les limites de concentration spécifiques de 7 composés du bore (CAS n°10043-35-3/11113-50-1, 13840-56-7, 1330-43-4, 12267-73-1, 1330-96-4, 12179-04-3). La limite de concentration générique (LGC) pour les substances Repr.

1B, soit 0,3%, s'appliquera alors à ces composés du bore. La présence de bore à ou au-dessus de cette limite dans une autre substance ou dans un mélange en tant qu'impureté identifiée, additif ou constituant individuel conduit à la classification de la substance ou du mélange comme dangereux. La modification est entrée en vigueur le 17 juin 2021 et s'appliquera à partir du 17 décembre 2022.

2.3.1.2 REACH

- Liste SVHC

Les composés du bore cités dans le paragraphe 2.3.1.1 ont été identifiés comme substances extrêmement préoccupantes et figurent sur la liste des substances candidates en vue d'une autorisation (Liste SVHC).

- Restrictions d'usage

Dans le cadre du règlement REACH concernant la mise sur le marché des substances chimiques², les composés du bore mentionnés dans le paragraphe 2.3.1.1 classés reprotoxiques sont inclus dans l'entrée 30 appendice 6 (toxique pour la reproduction catégorie 1B) de l'annexe XVII. Ces substances ne peuvent pas être mises sur le marché, ni utilisées comme substance, ni comme constituant d'autres substances ou dans des mélanges pour la fourniture au grand public lorsque leur limite de concentration est égale ou supérieure à 0,3 % (limite de concentration générique déclenchant la classification pour les substances Repr. 1B).

Les fournisseurs doivent s'assurer, avant la mise sur le marché, que l'emballage de ces substances et mélanges est marqué de manière visible, lisible et indélébile comme suit : « Réservé aux utilisateurs professionnels ».

Cette restriction ne s'applique pas aux produits cosmétiques, aux produits médicaux et vétérinaires, aux carburants et aux peintures « artistiques ».

Huit composés du bore (perborate de sodium et acide perborique, sel de sodium de n° Cas 15120-21-5, 11138-47-9, 12040-72-1, 13517-20-9, 37244-98-7, 10486-00-7, 10332-33-9 et 7632-04-4) figurent à l'annexe XIV de REACH (liste des autorisations) et disposent d'une dérogation jusqu'en 2023 pour les applications ou utilisations définies par le règlement (CE) N° 648/2004 du parlement et du Conseil européen relatif aux détergents.

2.3.1.3 Directive cadre eau (DCE)

Le bore et ses composés ne font pas partie des substances prioritaires dans le domaine de l'eau au titre des directives 2000/60/CE et 2008/105/CE modifiées par la directive 2013/39/CE du 12/08/2013, néanmoins, le bore est un paramètre de l'analyse photographique du contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines dans le cadre du programme de surveillance de l'état des eaux (l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux modifié par l'arrêté du 17 octobre 2018).

2.3.2 Règlementations sectorielles

2.3.2.1 Produits phytopharmaceutiques

D'après le règlement (UE) 2021/383 de la Commission du 3 mars 2021 modifiant l'annexe III du règlement CE n°1107/2009 du parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009 les borates présentés dans le Tableau 4 ne peuvent pas entrer dans la composition des produits phytopharmaceutiques.

² Règlement (CE) n° 1907/2006 du 18/12/06 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances REACH (2016). "Committee for Risk Assessment and for Socio-economic Analysis : Backgroup document. ", instituant une agence européenne des produits chimiques

Tableau 4. Composés du bore ne pouvant pas être dans la composition des produits phytopharmaceutiques d'après le règlement CE N° 1107/2009.

Nom	Synonymes	CAS	CE	Classifications/ Propriétés
Acide borique	Acide borique	10043-35-3 11113-50-1	233-139-2 234-343-4	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Octaborate de disodium	Octaborate de disodium; octaborate de disodium anhydre	12008-41-2	234-541-0	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Octaborate de disodium, tétrahydraté	Acide borique, sel de disodium, tétrahydraté	12280-03-4	234-541-0	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Tétraborate de disodium, anhydre	Tétraborate de disodium, anhydre; Oxyde de bore et de sodium	1330-43-4	215-540-4	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Tétraborate de disodium, décahydraté	Borax	1303-96-4	215-540-4	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Tétraborate de disodium, pentahydraté	Oxyde de bore et de sodium, hydraté	12179-04-3	215-540-4	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Acide orthoborique, sel de sodium	Acide orthoborique, sel de sodium; acide borique, sel de sodium	13840-56-7	237-560-2	Toxique pour la reproduction cat. 1B
Heptaoxyde de tétraborate et de disodium, hydraté	Heptaoxyde de tétraborate et de disodium, hydraté; Oxyde de bore et de sodium, hydraté	12267-73-1	235-541-3	Toxique pour la reproduction cat. 1B

2.3.2.2 Biocides

D'après le règlement UE No 528/2012 du Parlement Européen et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides, les substances actives suivantes sont autorisées³ en tant que PT08⁴, agents de préservation du bois :

- Disodium tétraborate pentahydraté (CAS 12179-04-3), dont le renouvellement est en cours
- Acide borique (CAS 10043-35-3) approuvé jusqu'au 28/02/2024

D'après ce même règlement les substances suivantes ne sont plus autorisées comme biocide de type PT08 depuis le 31/08/2021 :

- Disodium tétraborate (CAS 1330-43-4)

³https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances?p_p_id=dissactivesubstances_WAR_dissactivesubstancesportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&dissactivesubstances_WAR_dissactivesubstancesportlet_javax.portlet.action=dissActiveSubstancesAction

⁴ Protection du bois

- Disodium tétraborate decahydrate (CAS 1303-96-4)
- Disodium tétraborate pentahydrate (CAS 12179-04-3)
- Disodium octaborate tétrahydraté (CAS 12280-03-4)
- Oxyde de bore (CAS 1303-86-2)

Le N-Didecyl-N-dipolyéthoxyammonium borate / Didecylpolyéthoxyammonium borate (Polymeric betaine) (CAS 214710-34-6) est en cours de demande d'autorisation PT08.

2.3.2.3 Jouets

Le bore est inscrit dans la directive 2009/48/CE⁵. Les limites de migration présentées ci-après ne doivent pas être dépassées sauf pour les jouets qui « en raison de leur accessibilité, de leur fonction, de leur volume ou de leur masse, excluent tout danger par succion, léchage, ingestion ou contact prolongé avec la peau » :

- 1 200 mg/kg de matière de jouet sèche, friable, poudreuse ou souple
- 300 mg/kg de matière de jouet liquide ou collante
- 15 000 mg/kg de matière grattée du jouet

Ces valeurs limites ne s'appliquent pas aux jouets ou composants de jouets, lorsqu'ils sont utilisés dans les conditions définies à l'article 10, paragraphe 2, premier alinéa.

2.3.2.4 Cosmétiques

D'après la dernière version du règlement (CE) N° 1223/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques mis à jour le 01/10/2021, les substances dérivées du bore présentées dans le Tableau 5. Composés interdits dans les produits cosmétiques d'après le règlement (CE) N°1223/2009.

Tableau 5. Composés interdits dans les produits cosmétiques d'après le règlement (CE) N°1223/2009.

Nom	CAS	CE
N,N-Diméthylanilinium tetrakis(pentafluorophényle)borate	118612-00-3	422-050-6
Trioxyde de dibore; oxyde borique	1303-86-2	215-125-8
Acide borique	10043-35-3 11113-50-1	233-139-2 234-343-4
Octaborate de disodium anhydre	12008-41-2	234-541-0
Octaborate de disodium tétrahydraté	12280-03-4	234-541-0
2-Aminoéthanol, monoester avec l'acide borique	10377-81-8	233-829-3
Dihydrogénoorthoborate de (2-hydroxypropyl)ammonium	68003-13-4	268-109-8
Borate de potassium; acide borique, sel de potassium	12712-38-8	603-184-6
Borate de trioctyldodécyle	-	-
Borate de zinc	1332-07-6	215-566-6
Borate de sodium, tétraborate de disodium, anhydre; acide borique, sel de sodium	1330-43-4	215-540-4
Heptaoxyde de tétrabore et de disodium, hydraté	12267-73-1	235-541-3
Acide orthoborique, sel de sodium	13840-56-7	237-560-2
Tétraborate de disodium décahydraté; borax décahydraté	1303-96-4	215-540-4
Tétraborate de disodium pentahydraté; borax pentahydraté	12179-04-3	215-540-4
Perborate de sodium	15120-21-5	239-172-9

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02009L0048-20210521>

Nom	CAS	CE
Peroxométaborate de sodium ; peroxoborate de sodium	7632-04-4 10332-33-9 10486-00-7	231-556-4
Acide perborique (H ₃ BO ₂ (O ₂)), sel de monosodium, trihydraté	13517-20-9	239-172-9
Acide perborique, sel de sodium, tétrahydraté	37244-98-7	234-390-0
Acide perborique (HBO(O ₂)), sel de sodium, tétrahydraté, peroxoborate de sodium hexahydraté	10486-00-7	231-556-4
Acide perborique, sel de sodium	11138-47-9	234-390-0
Acide perborique, sel de sodium, monohydraté	12040-72-1	234-390-0
Acide perborique (HBO(O ₂)), sel de sodium, monohydraté	10332-33-9	231-556-4
Hydrogénoborate de dibutylétain	75113-37-0	401-040-5
Bis(tétrafluoroborate) de nickel	14708-14-6	238-753-4
Borure de nickel (NiB)	12007-00-0	234-493-0
Borure de dinickel	12007-01-1	234-494-6
Borure de trinickel	12007-02-2	234-495-1
Borure de nickel	12619-90-8	235-723-2
Phosphure de nickel et de bore	65229-23-4	-

Seul un composé du bore est autorisé en tant qu'agent conservateur dans les produits cosmétiques : le phénylmercure et ses sels (y compris le borate) de numéro CAS 62-38-4/94-43-9 pour les produits n'entrant pas en contact avec yeux.

2.3.2.5 Alimentaire

D'après le Règlement CE N° 1333/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 sur les additifs alimentaires, sont autorisés comme additif, uniquement dans les œufs d'esturgeon (caviar) :

- L'acide borique ou E 284 à une quantité maximale de 4 000 mg/kg (exprimé en acide borique).
- Le tétraborate de sodium (borax) ou E 285 4 000 mg/kg (exprimé en acide borique).

2.4 Valeurs et normes appliquées en France

2.4.1 Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées

Cette partie fait référence au bore et ses composés, les seuils sont exprimés en bore car dans la très grande majorité des mesures effectuées seul celui-ci est analysé.

- Industrie du verre et de la fibre minérale

Une valeur limite d'émission de 3 mg.L⁻¹ est fixée pour le bore et ses composés par l'arrêté du 12 mars 2003 relatif à l'industrie du verre et de la fibre minérale modifié par l'arrêté du 24 août 2017, modifiant dans une série d'arrêtés ministériels les dispositions relatives aux rejets de substances dangereuses dans l'eau en provenance des installations classées pour la protection de l'environnement.

- Installations nucléaires

L'acide borique, servant au pilotage du réacteur, est une substance chimique associée aux effluents radioactifs. Plusieurs arrêtés^{6,7,8,9} en fixent les limites de rejets dans l'environnement pour plusieurs installations nucléaires.

2.4.2 Normes de qualité environnementale (NQE) et valeur guide environnementale (VGE)

Cette partie fait référence au bore et ses composés, les seuils sont exprimés en bore car dans la très grande majorité des mesures effectuées, seul celui-ci est analysé.

Dans le cadre de l'évaluation du bon état des eaux, des normes de qualité environnementale (NQE) pour les eaux de surfaces sont établies au niveau communautaire par la directive 2008/105/CE modifiée, dans le contexte plus large de la gestion durable des eaux fixée par la directive cadre sur l'eau (DCE).

Néanmoins, il n'existe pas à ce jour de NQE associé au bore et ses composés au niveau communautaire ou au niveau national. De plus, l'Ineris n'a pas établi de valeur guide environnementale (VGE) dans l'eau pour le bore et ses composés.

Le Canada (CCME 2009) a établi pour le bore des Recommandations Canadiennes pour la Qualité des Eaux (RCQE) pour la protection de la vie aquatique :

- Exposition de longue durée (eaux douces) RCQE = 1,5 mg.L⁻¹
- Exposition de courte durée (eaux douces) RCQE = 29 mg.L⁻¹

Les Pays-Bas (RIVM 2010) ont établi : une concentration maximale acceptable pour les écosystèmes MAC_{eco} = 0,45 mg.L⁻¹ (0,51 mg.L⁻¹ avec fond géochimique) et une concentration maximale permise (équivalente à une PNEC ou AA-QS_{eco}) MPA_{eco,water} = 0,18 mgB.L⁻¹ ou MPC_{eco,water} = 0,24 mgB.L⁻¹ si le fond géochimique est intégré. Une concentration de risque grave pour les écosystèmes SRC_{eco} = 6,8 mg.L⁻¹ (6,9 mg.L⁻¹ avec bruit de fond) est également proposée.

Le Royaume-Uni (NRA 1999) dispose d'une norme de qualité pour l'eau de 7 mg B.L⁻¹.

L'Allemagne (Nendza 2003) propose pour le bore une norme de qualité dérivée pour l'eau douce :

QN-V = 0,1 mg.L⁻¹.

2.4.3 Valeurs appliquées en milieu professionnel

Dans cette partie toutes les valeurs disponibles pour les composés du bore sont présentées.

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) indicatives dans l'air des lieux de travail ont été établies pour certains composés du bore (INRS 2021):

⁶ Arrêté du 26 décembre 2014 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0470 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 décembre 2014 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 119 et n° 120 exploitées par Electricité de France-Société anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Alban - Saint-Maurice (département de l'Isère)

⁷ Arrêté du 6 août 2014 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0443 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 15 juillet 2014 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base nos 45, 78, 89 et 173 exploitées par Electricité de France-Société anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Vulbas (département de l'Ain)

⁸ Arrêté du 26 décembre 2014 portant homologation de la décision n° 2014-DC-0470 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 décembre 2014 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 119 et n° 120 exploitées par Electricité de France-Société anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Alban - Saint-Maurice (département de l'Isère)

⁹ Arrêté du 19 mars 2015 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0498 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 19 février 2015 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 46, n° 74 et n° 100 exploitées par Electricité de France - Société Anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Laurent-Nouan (département de Loir-et-Cher)

Tableau 6. Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) pour certains composés du bore (extrait de (INRS 2021))

Substances	N° CAS	Pays	VLEP 8h (ppm)	VLEP 8h (mg.m ⁻³)	VLEP CT (ppm)	VLEP CT (mg.m ⁻³)
Acide borique	10043-35-3 11113-50-1	USA (ACGIH)	6	2	-	-
Trioxyde de dibore	1303-86-2	France	-	10	-	-
Trifluorure de bore*	7637-07-2	France	-	-	1	3
Décaborane	17702-41-9	France	0,05	0,3	-	-
		USA (ACGIH)	0,05	0,25	-	-
Diborane	19287-45-7	France	0,1	0,1	-	-
		USA (ACGIH)	0,1	0,11	-	-
Pentaborane	19624-22-7	France	0,005	0,01	-	-
		USA (ACGIH)	0,005	0,013	-	-
Tétraborate de disodium anhydre	1330-43-4	France	-	1	-	-
		USA (ACGIH)	-	2	-	6
Tétraborate de disodium décahydraté)	1303-96-4	France	-	5	-	-
		USA (ACGIH)	-	2	-	6
Tétraborate de disodium pentahydraté	12179-04-3	France	-	1	-	-
		USA (ACGIH)	-	2	-	6
Tétraborate de disodium	-	Allemagne (MAK)	-	5	-	-
Tétraborates (calculé en Bore)	7440-42-8	Allemagne (MAK)	-	0,75	-	-

*L'Anses recommande pour le trifluorure de bore la fixation d'une VLEP-8h de 0.2 mg.m⁻³ et d'une VLCT-15 min de 7 mg.m⁻³ (Anses 2019).

2.4.4 Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation

Cette partie fait référence au bore et ses composés, les seuils sont exprimés en bore car dans la très grande majorité des mesures effectuées la technique d'analyse recherche le bore total sans distinction des composés.

- Au niveau européen :

La directive (UE) 2020/2184 du parlement européen et du conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixe une valeur paramétrique de 1,5 mg.L⁻¹ pour le paramètre « bore ». Une valeur paramétrique de 2,4 mg.L⁻¹ est appliquée lorsque l'eau dessalée est la principale ressource en eau du système d'approvisionnement concerné ou dans les régions où les conditions géologiques pourraient occasionner des niveaux élevés de bore dans les eaux souterraines.

- Au niveau national :

La limite de qualité du bore est fixée à 1 mg.L⁻¹ dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) et un niveau guide de 1 mg.L⁻¹ est fixé pour les eaux douces superficielles utilisées pour la production d'EDCH (respectivement aux annexes I et III de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine).

L'arrêté du 14 mars 2007 relatif aux critères de qualité des eaux conditionnées, aux traitements et mentions d'étiquetage particuliers des eaux minérales naturelles et des eaux de source conditionnées ainsi que de l'eau minérale naturelle distribuée en buvette publique modifié par l'arrêté du 28 décembre 2010, ne fixe pas de limite de qualité pour le bore dans les eaux minérales naturelles mais une limite de qualité fixée à 0,3 mg.L⁻¹ est la condition nécessaire pour faire figurer la mention d'étiquetage relative à l'alimentation des nourrissons.

2.5 Autres textes

2.5.1 Eaux de rejet

Le bore et ses composés ne sont pas concernés par l'arrêté du 30 juin 2005 relatif au programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses ni par l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et de transferts de polluants et des déchets.

2.5.2 Eaux souterraines

Le bore (code SANDRE 1362) fait partie de l'annexe I (listes des substances dangereuses) de l'arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines. Les composés du bore ne font pas partie de cette annexe.

2.5.3 Eaux de surface

Les annexes II et III de l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement, ne définissent pas le bore ou l'un de ses composés, ni comme une substance pertinente à surveiller, ni comme polluant spécifique de l'état écologique.

2.5.4 Produits phytosanitaires dans l'alimentation

Les borates ne sont pas mentionnés dans la dernière version du règlement (UE) n° 396/2005 du Parlement européen et du Conseil du 23 février 2005.

Néanmoins sur le site de l'ECHA (EU pesticide database) (ECHA), le niveau maximal de résidus d'acide borique, de pentaborate de sodium, de tétraborate de sodium et de disodium octaborate tétrahydrate dans les aliments est de 0,01 mg/kg. Défini par l'article 18(b) du Règlement (CE) n° 396/2005 du Parlement Européen et du Conseil du 23/02/05 concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale et animale et modifiant la directive 91/414/CEE du Conseil.

2.5.5 Contact alimentaire

Le tétraborate de baryum et le tétraborate de sodium font partie des monomères, autres substances de départ, macromolécules obtenues par fermentation microbienne, additifs et auxiliaires de production de polymères autorisés dans le règlement (UE) N° 10/2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires. Aucune limite de migration n'est indiquée.

2.5.6 Règlementation extra européenne

2.5.6.1 Convention OSPAR

Les borates ne font pas partie de la convention OSPAR. <https://www.ospar.org/work-areas/hasec/hazardous-substances/possible-concern/list>.

2.5.6.2 Convention de Rotterdam (PNUE)

Les borates ne font pas partie de la convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet d'un commerce international.

2.6 Classification et étiquetage

Cette partie ne traite que du bore de l'acide borique et de l'oxyde de bore. Le bore a une classification et un étiquetage harmonisés au regard du règlement 1272/2008 dit règlement CLP.

Tableau 7. Classification CLP harmonisée du bore, de l'acide borique et de l'oxyde de bore selon l'ECHA
(<http://echa.europa.eu/> - consulté en janvier 2022)

Classification		Étiquetage	
Classes et catégories de dangers	Codes des mentions de danger	Code des pictogrammes mention d'avertissement	Code des mentions des dangers
Bore			
Acute Tox. 4	H301	GHS02	H302
Aquatic Chronic 4	H302	GHS06	H413
Skin Irrit. 2	H413	GHS07	H315
Eye Irrit. 2	H315	GHS06	H319
Flam. Sol. 1	H319	Dgr	H228
Pyr. Sol. 1	H228		H250
	H250		
Acide borique			
Repr. 1B	H360	GHS08 Dgr	H360
Oxyde de bore			
Repr. 1B	H360	GHS08 Dgr	H360

Le Tableau 8 ci-après détaille les codes de danger associés au bore.

Tableau 8. Mentions de danger présentés dans le tableau 7 d'après le règlement CLP

Classification Étiquetage	
Liste des classifications et des étiquetages harmonisés des substances dangereuses ; annexe VI, tableau 3.1 du règlement CLP	
H301	Toxique en cas d'ingestion
H302	Nocif en cas d'ingestion
H315	Cause des irritations de la peau
H319	Cause de sérieuses irritation oculaire
H360	Peut dommager la fertilité et le fœtus
H413	Peut provoquer des effets nocifs à long terme sur les organismes aquatiques
H228	Solide inflammable
H250	Prend feu instantanément si exposé à l'air

2.7 Sources naturelles de bore et ses composés

Les borates sont présents dans l'environnement, sous forme de minerais de borates et de saumures. L'érosion de ces minerais peut générer des émissions de composés de bore vers les différents compartiments environnementaux.

Parmi les sources d'émissions vers l'atmosphère les plus importantes sont l'évaporation marine et les éruptions volcaniques.

2.8 Sources non-intentionnelles de bore et ses composés

Selon les utilisations des borates et du bore élémentaires présentée dans la partie 3.4, des émissions de bore pourraient être possibles lors de la combustion de carburants contenant des borates. Des émissions pourraient également avoir lieu lors du vieillissement de peintures, panneaux de bois et adhésifs contenant des borates.

3 Production et utilisations

3.1 Production et vente

3.1.1 Données économiques

Les composés du bore sont majoritairement utilisés à plus de 99% sous forme de borates (composés constitués d'atomes de bore et d'oxygène : B_2O_3) comme par exemple les perborates (ELEMENTARIUM 2021).

Les gisements de borates exploitables sont principalement situés en Turquie (70% des réserves mondiales), aux Etats-Unis (en Californie dans le désert Mojave), dans le massif andin et au Tibet. 4 minéraux fournissent 90% de la production mondiale de borates : le borax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), la kernite ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$), la colémanite ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$), majoritairement exploitée en Turquie et l'ulexite ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) principalement exploitée en Amérique du Sud (Crangle R.D. 2016) (Perrier G. 2008). Le borax a été utilisé dès le 8^{ième} siècle comme agent liant pour la production d'or ou d'argent. Certaines recherches montre même qu'il aurait pu être utilisé il y a plus de 4000 ans par les babyloniens (Crangle R.D. 2016). Les réserves mondiales connues de borates en 2000 étaient de 363 000 millions de tonnes de B_2O_3 . Les réserves totales pourraient être de 885 000 millions de tonnes de B_2O_3 (Helvacı C. and al. 2017). Les informations sur les ressources de borates disponibles varient selon les sources : en effet, Etimaden (un des principaux producteurs de borates) mentionne 1 300 millions de tonnes de B_2O_3 . Il n'y a pas de mines de borates en France (ELEMENTARIUM 2021).

En 2016, 4,2 millions de tonnes de minerai de bore (2,1 millions de tonnes de B_2O_3) ont été produites au niveau mondial, ce qui constitue une légère augmentation par rapport à 2006 où 2,3 millions de tonnes de B_2O_3 étaient produites (Commission., 2008 #182) (Etimaden 2019).

En 2016, la consommation mondiale était de 1,8 millions de tonnes de B_2O_3 , dont plus de la moitié était destinées à l'Asie avec 56%, puis à l'Europe avec 18% et ensuite l'Amérique du Nord pour 16%, l'Amérique latine pour 9%, et enfin l'Afrique et le Moyen Orient avec respectivement 1,5% et 0,5% (ELEMENTARIUM 2021). L'Asie est le continent le plus consommateur depuis une dizaine d'années (Etimaden 2019). La consommation Européenne de composés de bore est en augmentation entre 2006 et 2016, elle est passée de 140 000 tonnes de B_2O_3 en 2006 à 290 000 tonnes en 2016 tonnes de B_2O_3 .

La consommation mondiale de bore élémentaire est d'environ 15 tonnes par an (USGS 2015).

En 2021, la France est importatrice nette « d'oxydes de bore et d'acides boriques » avec environ 3000 tonnes importées entre octobre 2020 et octobre 2021. Les principaux pays fournisseurs sont le Luxembourg, les Etats Unis et la Turquie (environ 75% des importations proviennent de ces 3 pays) (Douanes et droits indirects 2021). La France est également importatrice nette de trioxyde de bore avec 140 tonnes importées (depuis Allemagne, Pays-Bas et Etats-Unis à plus de 90%) entre octobre 2020 et octobre 2021.

Le tableau 9 ci-après présente les prix des minerais de bore entre 2006 et 2015.

Tableau 9. Prix en euros par tonne des différents borates d'après (RPA 2008, USGS 2015) pour l'année 2006 et (USGS 2015) pour les années 2013, 2014 et 2015

Composés	2006	2013	2014	2015
Borax décahydraté	260 - 290	808 - 836	802 - 832	802 - 832
Borax pentahydraté	305 - 320	-	-	-
Borax anhydre	680 - 705	-	-	-
Acide borique	680 - 710	529 - 768	529 - 768	529 - 768
Colémanite, Buenos Aires, 40% oxyde borique (B ₂ O ₃)	-	589 - 623	589 - 623	589 - 623
Colémanite, morceaux, Turquie, 40-42% (B ₂ O ₃)	230-247	-	-	-
Ulexite, Buenos Aires, 40% (B ₂ O ₃)	-	568-595	589-640	589-640
Ulexite ganulaire, Chili, 40% (B ₂ O ₃)	-	590-627	614-700	614-700
Ulexite, Lima, 40% (B ₂ O ₃)	213-256	529-557	529-555	529-555

La demande en borates augmente au niveau mondial, ce qui se traduit par une augmentation des prix comme on peut l'observer dans le tableau 9. La demande mondiale en borate devrait continuer à augmenter au cours des années à venir étant donné la forte demande asiatique pour la production d'engrais et de verres et céramiques (India ministry of mines 2021).

3.1.2 Procédés de production

3.1.2.1 Production du bore élémentaire

Selon (Blazy P. and Jdid E.A. 2011) la production de bore élémentaire est obtenue par réduction à chaud de B₂O₃ :

- à partir d'acide borique par un métal réducteur
- par électrolyse ignée de B₂O₃

3.1.2.2 Procédés de production des principaux borates

Ci-après sont présentées les méthodes de production des principaux borates.

3.1.2.2.1 Borax decahydre (tétraborate de disodium décahydraté) et borax pentahydre (tétraborate de disodium pentahydraté)

Dans un premier temps les minerais de borax ou de colémanite ou d'ulexite sont broyés et mis en présence d'eau en ébullition. Le borax passe en solution et est récupéré par évaporation de l'eau et recristallisé puis centrifugé pour s'associer avec des molécules d'eau (cinq pour le borax pentahydraté ou tétraborate de disodium pentahydraté ou dix pour le borax decahydraté ou le tétraborate de disodium décahydraté (Na₂B₄O₇, 10H₂O)). Les produits sont ensuite séchés (Cahit Helvaci, 2017 ; ELEMENTARIUM, 2021).

3.1.2.2.2 Acide borique

L'acide borique (H₃BO₃) est préparé en faisant réagir du borax avec de l'acide sulfurique suivant la réaction chimique suivante (ELEMENTARIUM, 2021 #7) : Na₂B₄O₇, 10H₂O + H₂SO₄ → 4 H₃BO₃ + Na₂SO₄ + 5 H₂O.

3.1.2.2.3 Oxyde de bore (B₂O₃)

L'oxyde de bore est produit par déshydratation de l'acide borique à une température de 300°C, la réaction est la suivante : $2 \text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{B}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$ (ELEMENTARIUM, 2021).

3.1.2.2.4 Perborate de sodium

Le perborate de sodium est produit en 2 étapes (Blazy P. and Jdid E.A. 2011) :

- 1) Réaction du borate (borax ou kernite) avec de la soude caustique afin de préparer une solution de métaborate de sodium



- 2) Réaction du métaborate avec de l'eau oxygénée



3.1.3 Noms commerciaux du Bore

Les noms commerciaux figurant dans le tableau ci-après sont issus de la page de l'Echa relative au bore (ECHA, 2022).

Tableau 10. Autres synonymes et noms commerciaux du bore élémentaire

Synonymes et noms commerciaux
Boron
Boron Carbide
Ferroboron

Etant donné le nombre trop élevé de composés de bore, ceux-ci ne sont présentés dans cette partie.

3.2 Utilisations

3.2.1 Variété d'utilisations

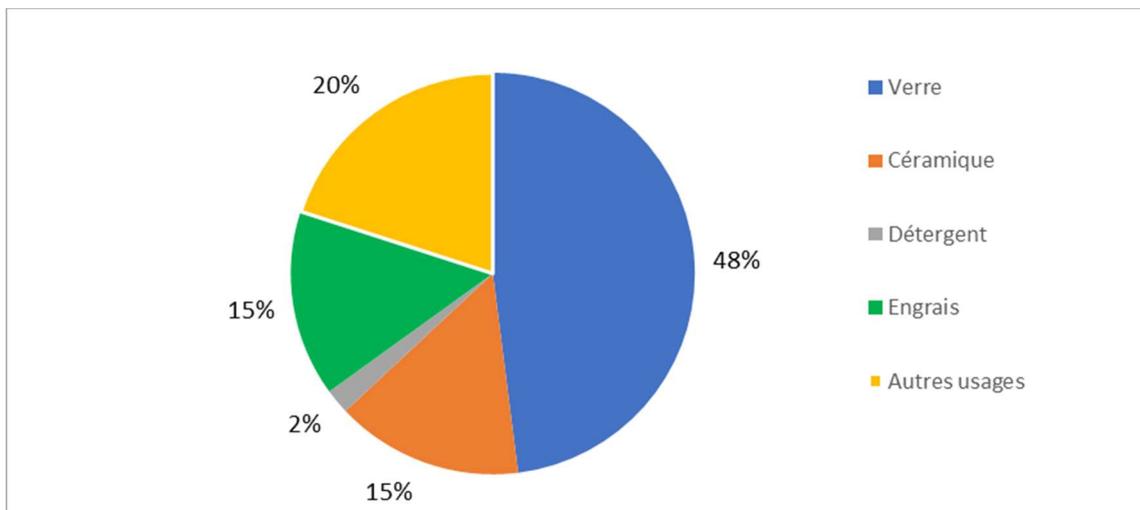
Le bore et ses composés sont utilisés pour plusieurs centaines d'usages, 300 utilisations finales selon (USGS 2018) (Blazy P. and Jdid E.A. 2011). Plus de 99% de la consommation de bore et de ses composés se fait sous la forme de borates (ELEMENTARIUM 2021). Pour cette raison les parties sur les usages et la substitution ne traiteront que des borates, et du bore à l'état élémentaire.

La principale utilisation des borates est la production de verre et fibres de verre, selon (ELEMENTARIUM 2021) cet usage représenterait 48% des usages totaux de borates. La seconde utilisation des borates est la production de céramique avec 15% de la totalité des borates utilisés en Europe. Le secteur de l'agriculture avec la production d'engrais est la troisième plus grande utilisation selon (ELEMENTARIUM 2021). Cet usage pourrait être moins important selon (Commission Européenne, 2008) qui l'évaluait en 2008 à 7%. Enfin 2% des borates sont utilisés pour la production de détergents selon (ELEMENTARIUM 2021). Les 20% restants selon ces deux sources sont utilisés dans des secteurs divers tels que l'industrie pharmaceutique, le textile, les composants dans les abrasifs, les produits de nettoyage, les insecticides, l'isolation et la production de semi-conducteurs...(ELEMENTARIUM 2021).

Pour information le diborane, est utilisé pour le dopage du silicium et du germanium destinés à l'industrie électronique, comme catalyseur de polymérisation, comme agent de vulcanisation et comme réducteur (ELEMENTARIUM 2021).

Enfin le trichlorure de bore est utilisé pour la production de fibres rigides utilisées pour renforcer les matrices plastiques ou métalliques (ELEMENTARIUM 2021).

Figure 1. Répartition des utilisations de bore en 2018, d'après (ELEMENTARIUM, 2021 #7).



Les parties suivantes détaillent successivement l'utilisation des borates et d'autres composés du bore apparus comme les plus significatifs lors de la revue de littérature.

3.2.2 Utilisation des borates

3.2.2.1 Production de verres

Le bore et ses composés sont utilisés dans le secteur du verre : verres borosilicatés et fibres de verre utilisées pour l'isolation électrique, thermiques, et de fibres de verre utilisées pour le renforcement de matériaux (Blazy P. and Jdid E.A. 2011).

En Europe deux borates sont principalement utilisés pour la production de verres borosilicatés; l'acide borique à 56% et le borax pentahydrate (ou disodium tétraborate pentahydrate) à 35% (Commission Européenne 2008). Les verres borosilicatés représentent une importante partie de la production mondiale de verres dans le monde. En 2009, la production en Europe a été estimée à 3 millions de tonnes, ce qui représentait 10% de la production européenne totale de verre (Hubert M. and Jans Faber A. 2014).

Les quantités de tétraborates (acide borique, oxyde borique, borax pentahydrate...) utilisés dans la production de verre et de fibres de verre étaient d'environ 47 000 tonnes par an en 2008 (exprimées en B_2O_3) (ECHA). RPA mentionne que 75 000 tonnes d'acide borique seraient utilisées en Europe en 2008 pour la production de verres et de fibres de verre et 46 000 tonnes de borax pentahydrate (RPA 2008).

3.2.2.1.1 Fibres de verre

Il existe trois catégories de fibres de verre dans lesquelles des borates sont utilisés pour leur confection : C, D et E (voir signification Tableau 11) (Blazy P. and Jdid E.A. 2011) (Rio Tinto 2021).

En 2005, la demande mondiale en fibres de verre était de 810 000 tonnes de B_2O_3 (Blazy P. and Jdid E.A. 2011). Ce chiffre comprend également les fibres de verre utilisées pour l'isolation. En 2008, ce secteur était en augmentation avec une croissance annuelle de 3,4% (Commission Européenne 2008).

Ces fibres sont utilisées dans les polymères, les plastiques (thermoplastiques et thermodurcissables par exemple), les composites¹⁰, les isolations thermiques, phoniques et électriques. Le tableau ci-dessous présente les différentes catégories de fibre et leur composition en borates exprimée en trioxyde

¹⁰ Matériaux composés d'au moins deux matériaux de nature différente

de bore ainsi que leurs principaux secteurs d'application. Les borates utilisés pour la confection de ces fibres sont l'acide borique, la colémanite, et le borax pentahydrate (Hubert M. and Jans Faber A. 2014).

Tableau 11. Catégories de fibres de renforcement composées de bore, d'après (Berthereau A. and Dallies E. 2008 , Blazy P. and Jdid E.A. 2011) .

Type de fibre de verre	Composition massique typique en B ₂ O ₃ (%)	Propriétés générales
E	0 à 10	Usage général
E	5 à 10	Usage électronique, circuit imprimé
D	22,5	Propriétés diélectriques améliorées
C	5	Résistance en milieu acide (sauf acide HF)

Les fibres de verre E (Electrique) ont, à l'origine, été développées pour leurs propriétés isolantes électriques. Les fibres de verre E sont des alumino-borosilicates utilisés dans une large étendue de composites en raison de leurs propriétés mécaniques, de leur facilité de fibrage et de leur coût modéré. Ils sont particulièrement efficaces lorsqu'il s'agit de renforcement de matériaux composites à matrices organiques. En 2008 les fibres de verre E constituaient 95% de la part du marché mondial des fibres de verre, ce qui représentait 2,65 millions de tonnes par an (Berthereau A. and Dallies E. 2008).

Les verres C (résistance Chimique) sont des borosilicates de calcium et d'alumine utilisés pour l'isolation. Ils contiennent plus de 12% en masse d'alcalins et jusqu'à 65% de silice et permettent une meilleure résistance chimique, notamment dans les milieux acides et ont l'avantage d'être biosolubles. Les verres C sont également utilisés sous forme de voiles comme couche superficielle de renfort dans les barrières anticorrosives de pièces en composite de génie chimique, dans les enduits de bitume servant à produire des matériaux de couverture (shingles). Ils peuvent se présenter sous forme de tissus et peuvent être utilisés pour la confection de bacs pour accumulateurs ou de tissus muraux (verranne) (Berthereau A. and Dallies E. 2008).

Les verres D sont des verres de spécialités à hautes performances diélectriques¹¹, les fibres sont transparentes aux ondes radar et sont développées pour les applications électroniques nécessitant de hautes performances notamment pour les avions militaires. Leur usage s'étend à d'autres applications comme les circuits imprimés pour la téléphonie mobile (Berthereau A. and Dallies E. 2008).

Les acteurs dans le domaine du verre réduisent depuis quelques années le coût de fabrication en diminuant voire éliminant l'oxyde de bore (B₂O₃) de certains types de verres du fait de son coût élevé (Berthereau A. and Dallies E. 2008 , Blazy P. and Jdid E.A. 2011).

Les borates sont également utilisés pour la production de fibres isolantes thermiques comme la laine de verre. La composition typique en borates (exprimé en trioxyde borique) dans ces fibres de verre utilisées pour l'isolation est de 4 à 5% en poids (Hubert M. and Jans Faber A. 2014). Les borates permettent de réduire la température de fusion du mélange, et permettent un « fibrage » optimal en jouant sur la viscosité et la tension de surface des fibres. Du borates pentahydraté ou de l'uxelite peuvent être utilisés pour la confection de ces fibres (Rio Tinto 2021).

3.2.2.1.2 Verres avec du bore

L'addition de borates dans le verre procure plusieurs avantages (Hubert M. and Jans Faber A. 2014) :

¹¹ Milieu ne contenant pas de charges électriques susceptibles de se déplacer de façon macroscopique, il ne peut donc pas conduire de courant électrique et peut être utilisé comme isolant électrique.

- Ils permettent d'abaisser les températures de fusions lors de la fabrication du verre. Le bore agit comme un « solvant » et améliore la dissolution de toutes les substances du mélange, la dévitrification¹² est inhibée, la viscosité de la matière fondue est abaissée.
- Dans le produit final, le bore renforce l'altération du réseau vitreux. La dilatation thermique est réduite, la résistance aux chocs et aux agents chimiques est améliorée, la tendance à cristalliser est diminuée et les produits finaux sont plus transparents et brillants.

Les propriétés apportées par les borates au verre dépendent de la concentration en bore. Un ajout d'une faible quantité (quelques pourcentages massique) de bore permet déjà de baisser le point de fusion (dans ce cas le bore est utilisé plutôt comme un additif) alors qu'une concentration de l'ordre de 13% à 25% (pourcentage massique) apporterait plutôt des propriétés de résistance chimiques ou mécaniques. En raison du secret industriel les compositions des verres borosilicatés ne sont pas toujours bien connues, et les propriétés réelles qui découlent de son utilisation ne sont pas toujours clairement explicitées¹³.

Au regard de l'ensemble de la littérature consultée pour cette fiche, il semblerait que les principaux verres contenant des borates soient des verres de type borosilicaté.

Les propriétés citées ci-avant expliquent l'étendue des applications des verres borosilicatés (Hubert M. and Jans Faber A. 2014). Les principales utilisations commerciales sont présentées dans les paragraphes suivants. Le développement de nouveaux marchés en forte croissance requérant l'utilisation de verres borosilicatés, comme les écrans de type LCD (Liquid Display Screens), contribuent à leur importance dans l'industrie du verre.

Tableau 12. Produits utilisant des verres borosilicatés et propriétés apportées par les verres borosilicatés selon (Hubert M. and Jans Faber A. 2014) et des entretiens réalisés avec des industriels et chercheurs

Produits	Propriétés recherchées et apportées par les borates au verre	Information complémentaire sur le verre borosilicaté
Matériel de cuisine en verre (plats résistants à la chaleur « Pyrex » ...)	Baisse de la température de fusion lors de la production, amélioration du réseau vitreux (résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques, faible dilatation thermique)	Principale utilisation des verres borosilicatés ¹³
Verrerie de laboratoire (béchers, erlenmeyers, éprouvettes...)	Baisse de la température de fusion lors de la production, amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits chimiques, résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques, faible dilatation thermique)	
Ampoules et flacons pour médicaments	Amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits chimiques, durabilité en milieu aqueux...)	
Ecran d'affichage de type LCD	Les borates sont principalement utilisés pour permettre la réduction de la température de fusion du verre lors de sa production ¹⁴ .	13% en poids du verre de B ₂ O ₃ . Cet usage serait en croissance, étant donné la demande croissante en écrans de type LCD (information non basée sur des chiffres précis) ¹⁴
Verres utilisés pour l'éclairage électrique (ampoules)	Baisse de la température de fusion lors de la production, amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits	

¹² Dévitrification : Action d'ôter au verre sa transparence par l'action prolongée de chaleur (dictionnaire Le Robert)

¹³ Information(s) recueillie(s) lors d'un entretien réalisé dans le cadre de ce travail avec Gerald Lelong chercheur à l'Institut de Minéralogie, Physique des Matériaux et Cosmochimie

¹⁴ Information(s) recueillies dans le cadre d'un entretien avec « CelSian » (<https://www.celsian.nl/>) société de conseil néerlandaise dans le domaine de la production de verres, interviewée pour la réalisation de cette fiche

Produits	Propriétés recherchées et apportées par les borates au verre	Information complémentaire sur le verre borosilicaté
halogènes, phares de voiture, abat-jours, tubes fluorescents...)	chimiques, résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques, faible dilatation thermique)	
Lentilles ophtalmologiques ou miroirs de télescopes	Amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits chimiques, résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques, faible dilatation thermique)	
Verres de panneaux solaires	Baisse du point de fusion, amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits chimiques, résistance aux variations thermiques)	
Verres pour immobilisation et stockage de déchets nucléaires	Baisse du point de fusion. En plus de faciliter la vitrification du mélange, l'ajout de bore associé à la présence d'alcalins dans la composition du verre permet de diminuer la viscosité en comparaison avec un verre de type silicate. Ceci permet d'élaborer les verres de conditionnement des déchets à des températures de 1100-1200°C. D'autre part le bore permet d'améliorer la résistance du réseau vitreux à l'altération par l'eau (Thierry Advocat, 2008).	La concentration en Bore est de l'ordre de 10%-15% massique (Thierry Advocat and al. 2008)
Verres utilisés dans l'art	Haute brillance	
Verres utilisés pour l'emballage de produits cosmétiques	Résistance aux produits chimiques	
Verres utilisés dans l'industrie spatiale	Résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques	
Verres de tubes collecteurs recueillant le rayonnement réfléchi par des miroirs paraboliques pour la production d'électricité dans les centrales solaires thermiques	Résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques	
Verres de scellement (verre/métal)	Résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques	

En France, environ 20 000 conteneurs de 400 kg de verres de conditionnement des déchets nucléaires de type borosilicaté ont été produits depuis la mise en service du procédé de vitrification (années 1990 environs). Pour produire ces verres borosilicatés, l'acide borique n'est pas directement utilisé, des frites de verre contenant du bore sont utilisés comme précurseurs (Thierry Advocat and al. 2008).

Il existe également des verres boratés « purs », c'est-à-dire des verres sans silice ou aluminium mais avec des alcalins (lithium, sodium, ...) qui pourraient être utilisés pour des applications dans l'optique (pour la confection de cavités laser, dans lesquelles le borate est utilisé sous forme de verre ou de cristal dopé par des métaux rares), dans l'énergie (électrolytes solides) ou dans la médecine avec des implants résorbables pour faire repousser les os. Enfin il existe également des verres aluminoboratés utilisés dans la fabrication des ampoules, ou dans des applications de scellement¹³.

3.2.2.2 Emaux et frites de verre

La principale utilisation des borates dans les émaux et frites de verre serait pour baisser la température de fusion lors de la production¹⁴.

Selon (Hubert M. and Jans Faber A. 2014) des borates sont également utilisés dans les émaux, frites de verres pour améliorer la résistance mécanique et chimique. Les borates améliorent la résistance aux chocs thermiques, réduisent la tension de surface et favorisent l'interaction entre le corps des carreaux, la céramique et les émaux, réduisant ainsi les craquelures. Les borates sont également utilisés pour des propriétés de transparence (possibilité de coloration grâce à l'utilisation de pigments).

En 2005, la demande mondiale de borates utilisés pour la production de céramique était de 350 000 tonnes (exprimées en B₂O₃) (Blazy P. and Jdid E.A. 2011).

3.2.2.3 Engrais agricole

Le bore est un élément essentiel pour la croissance des plantes. Il améliore le transport des nutriments et permet ainsi d'améliorer le développement des plantes, la fructification et le développement de graines et de la pollinisation. La carence en bore s'illustre de manière différente suivant les cultures : tâches aqueuses brunes, gerçures des tiges, jaunissement du feuillage... Au contraire, un surdosage du bore peut être toxique.

Les composés de bore utilisés pour la production d'engrais sont l'acide borique, les borates de sodium (borax), les borates de calcium et le bore d'éthanolamine. L'acide borique, les borates de sodium et le bore d'éthanolamine ont l'avantage d'être solubles et de fournir du bore facilement aux plantes. Ces produits chimiques peuvent être utilisés sous la forme de pulvérisation foliaire ou via l'irrigation. Cependant elles ont le désavantage d'être facilement lessivées, en particulier sur les sols calcaires et leur solubilité peut entraîner une toxicité surtout sur les plantes sensibles. La réglementation des fertilisants impose une concentration minimum en bore dans les engrais comprise entre 2 et 14% selon la substance amenant le bore (Union Européenne 2003) (RPA 2008).

Les cultures particulièrement sensibles aux carences en bore sont le colza et la betterave, les cultures de fruits et de légumes et la sylviculture.

3.2.2.4 Savons et détergents

L'acide borique et le perborate de sodium sont utilisés dans les détergents ; principalement des lessives sous forme de poudre mais aussi les nettoyants ménagers et industriels et les savons pour les mains. Les borates sont utilisés dans ces produits principalement pour stabiliser la composition des autres composants (stabilisation des enzymes) et comme agent de blanchiment. Dans les lessives, la concentration en acide borique est entre 1 et 5%, la concentration de perborate de sodium est comprise 6,5 et 10%. Le tétraborate de sodium peut également être utilisé comme agent de blanchissement dans les lessives (RPA 2008) (DEPA 2015) (ELEMENTARIUM 2021). Selon le site (Rio Tinto 2022) les borates sont également utilisés pour contrôler la viscosité, éviter la décoloration, pour adoucir l'eau, émulsifier les graisses et les huiles, ainsi que pour leurs propriétés bactéricides et fongicides.

La consommation totale de l'Union Européenne d'acide borique et de tétraborate de sodium dans les lessives est estimée à 930 tonnes par an (calculé en bore) (RPA 2008) (DEPA 2015) (ELEMENTARIUM 2021).

3.2.2.5 Isolation en cellulose

L'acide borique et le disodium tétraborate peuvent être utilisés comme retardateur de flamme dans les isolations en cellulose (12% d'acide borique), dans des produits en bois et en paille, dans certains produits en papier ou en carton, dans la ouate des matelas. Cette utilisation comme retardateur de flamme a également une fonction biocide, contre le développement de champignons et/ou d'insectes. Cette propriété biocide est détaillée dans la partie ci-après. (RPA 2008).

3.2.2.6 Biocides

Les tétraborates étaient utilisés comme protection pour le bois pour les produits en bois massif, les composites en bois ou les matériaux de construction d'intérieur comme les montants, le contreplaqué, les solives et les chevrons (ECHA 2010). Aujourd'hui l'acide borique est autorisé pour ses propriétés biocide selon la réglementation biocide de l'UE. Le disodium tétraborate pentahydraté dispose actuellement d'une autorisation en cours de renouvellement.

Hormis pour l'utilisation dans les produits en bois, massifs ou contreplaqué, qui implique directement l'utilisation de borates pour son action biocide, d'autres usages présentés dans cette partie impliquent indirectement, de façon auxiliaire, l'utilisation de borates pour leurs propriétés biocides : il s'agit des usages suivants isolation en cellulose, adhésifs, retardateur de flamme, liquides d'usinage.

3.2.2.7 Adhésifs

Des borates peuvent être utilisés dans les résines aminoplastes (utilisées elles-mêmes pour la production de panneaux de bois agglomérés) pour les propriétés suivantes : stabilisateur de pH, fongicides et retardateur de flamme (DEPA 2015). Selon la réglementation biocide, seul l'acide borique pourrait être utilisé à ce jour pour sa fonction biocide dans les adhésifs.

Dans les adhésifs à base de produits polymères naturels comme le maïs, la pomme de terre ou le blé, les tétraborates sont ajoutés pour augmenter l'humidité (DEPA 2015).

3.2.2.8 Peintures et les revêtements

Les borates sont utilisés dans les peintures et les revêtements pour leurs propriétés de retardateurs de flamme, anticorrosion et comme stabilisateurs de pH.

3.2.2.9 Carburants

Les borates sont également utilisés comme additifs dans les carburants pour prévenir ou diminuer le préallumage d'un moteur. Prévenir le préallumage permet de d'éviter des dommages sur certains éléments mécaniques comme les pistons, les bougies, le carburateur...(Faure S. and Papin G. 2019, ELEMENTARIUM 2021)

3.2.2.10 Secteurs de la sidérurgie et de la métallurgie

Les borates (ex : borate de potassium) sont utilisés en sidérurgie et métallurgie pour dissoudre les oxydes métalliques dans la soudure et le brasage et favoriser l'obtention de laitiers¹⁵ fusibles.

L'acide borique est utilisé pour la production de ferrobore (alliages métalliques utilisés en sidérurgie) (ELEMENTARIUM).

3.2.2.11 Béton

Le borax peut être utilisé dans le béton et le ciment pour ralentir son durcissement. (ELEMENTARIUM 2021)

3.2.2.12 Liquides d'usinages

Les borates sont utilisés dans les liquides d'usinage pour leurs propriétés d'inhibiteurs de corrosion et bactériostatiques¹⁶.

3.2.2.13 Liquide de refroidissement

Les borates peuvent être utilisés pour leurs propriétés antioxydante et anticorrosive des métaux dans les circuits de refroidissement de véhicules, de tours aéroréfrigérantes... (RPA 2008) (ELEMENTARIUM 2021). Dans les liquides de refroidissement les borates ont également un rôle de tampon.

3.2.2.14 Lubrifiants

Les borates sont utilisés dans des lubrifiants pour protéger les métaux de la corrosion. Pour cette même propriété ils sont utilisés également dans les peintures (ex : borate de zinc), les aérosols, les liquides d'usinage. Entre 8 000 tonnes et 10 000 tonnes de borates étaient utilisés en 2008 en Europe dans ce domaine. (RPA 2008) (ELEMENTARIUM 2021)

¹⁵ Laitier : « Scories qui sont formées en cours de fusion ou d'élaboration du métal par voie liquide »

Scories : « sous-produits solides issus de la fusion, de l'affinage, du traitement ou de la mise en forme des métaux à haute température »

¹⁶ Bactériostatiques : substance chimique qui arrête la prolifération des bactéries (Le Robert)

3.2.2.15 Feux d'artifice

Les borates sont également utilisés comme colorant (couleur verte) dans les feux d'artifice.

3.2.2.16 Jeux « slime »

Ils sont aussi utilisés dans les plastifiants et dans les jeux « slime¹⁷ » pour les enfants en tant que conservateur (Danemark 2010, DEPA 2015, ELEMENTARIUM 2021).

3.2.2.17 Production de Nylon

L'acide borique est utilisé comme catalyseur lors de l'oxydation du cyclohexane destiné à produire le Nylon (ELEMENTARIUM 2021).

3.2.2.18 Secteur agroalimentaire

Aujourd'hui, l'acide borique est un additif alimentaire connu sous le nom E284 autorisé dans l'UE comme conservateur antimicrobien et utilisable seulement dans les œufs d'esturgeon (caviar) (UFC Que choisir 2018).

3.2.2.19 Recherche médicale

L'acide borique est une substance d'intérêt en recherche médicale notamment pour le développement de traitements contre des infections bactériennes, ou contre virus de l'hépatite (Baker S.J. and al. 2009).

3.2.2.20 Industrie pharmaceutique

Les borates sont utilisés pour la production d'antiseptiques utilisés dans les médecines vétérinaire et humaine.

3.2.2.21 Industrie nucléaire

L'eau borée est souvent utilisée comme réfrigérant pour enlever la chaleur du cœur du réacteur de centrales nucléaires de production d'électricité. Les borates sont ajoutés à l'eau pour aider au contrôle du taux de fission dans le réacteur. La conduite de la réaction nucléaire dans la centrale peut être ajustée en changeant la teneur en bore de l'eau. Enfin, du bore est stocké sur site afin de pouvoir l'ajouter à l'eau en cas de problème et pour assurer un arrêt si nécessaire (Moravej M. 2019). Le recyclage de l'eau borée n'est pas possible. L'acide borique contenu dans l'eau est enfuté en coque en béton ou incinéré. Un réacteur de type 1450 MWe produit 5 tonnes de déchets d'acide borique par an, un réacteur de type 900 ou 1300 MWe produit 3 tonnes par an (EDF 2020). Le bore élémentaire est également utilisé dans les matériaux et barres de contrôle dans les centrales nucléaires (cf 3.2.3.1).

3.2.3 Utilisations du Bore élémentaire

3.2.3.1 Industrie nucléaire

Le bore, plus particulièrement le ¹⁰B est utilisé dans les centrales nucléaires pour absorber les neutrons générés par la réaction de fission de l'uranium. Grâce à ses propriétés d'absorption de rayonnements, le bore est largement utilisé dans les systèmes de blindage, de contrôle et de sûreté des réacteurs nucléaires. Du bore enrichi est utilisé pour la confection de ces barres de contrôle. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Control_rod_-_cite_note-RE1-2 (University of Calgary 2021) Du bore peut également être ajouté à l'acier pour que le métal en lui-même absorbe les radiations de neutrons. De l'acier contenant du bore est utilisé pour la construction et la protection dans l'enceinte de la centrale nucléaire. Il est également ajouté dans les plastiques utilisés dans la centrale (Moravej M. 2019).

3.2.3.1.1 Recherche médicale

Le bore (notamment le ¹⁰B) est un composé d'intérêt dans la recherche de traitement anticancéreux. (Baker S.J. and al. 2009) (Fondation pour la recherche médicale 2021).

¹⁷ Gel ou pâte gluante, visqueuse

3.2.3.2 Autres usages

Le bore mélangé à du nitrate de potassium est utilisé pour la production de propergol utilisé notamment pour la production d'airbags (Ding D. 2005).

En pyrotechnie le bore est utilisé notamment pour la couleur verte qu'il donne à la flamme.

Le bore (en particulier le nitrure de bore) est utilisé comme agent dopant pour la production de semi-conducteur de type P. C'est notamment un dopant pour le silicium et le diamant (*Boron Specialties 2020, ELEMENTARIUM 2021*).

3.2.4 Synthèse des utilisations

Le bore est presque exclusivement utilisé sous forme de borates. Les borates sont utilisés en majorité pour la production de verres et de céramiques, la production d'engrais et la production de savons et de détergents. Depuis peu la consommation de borates pour la production de savons et de détergent a très fortement diminué en Europe au profit du percarbonate de sodium. Les borates sont également utilisés pour de très divers usages pour leurs propriétés de retardateurs de flamme, anticorrosives, antioxydante, comme stabilisateur de pH, biocides, et colorants...

4 Rejets dans l'environnement

Cette partie fait référence à des émissions de bore et ses composés exprimées en bore car dans la très grande majorité des mesures effectuées seul celui-ci est analysé.

4.1 Émissions anthropiques totales

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature consultée d'estimations des quantités de bore et composés émis par les activités humaines.

Concernant les usages de borates pour la production de verre, les principales émissions de composés de bore auraient lieu durant la production et éventuellement le recyclage. Il n'y aurait pas ou peu d'émissions durant la phase d'utilisation¹⁴.

La France ne disposant pas de mines de Borates, nous n'avons approfondi la question des émissions de borates par les mines.

4.2 Émissions atmosphériques

Les principales sources d'émissions de bore et de ses composés vers l'atmosphère sont l'évaporation marine, les éruptions volcaniques (sources naturelles) et enfin les émissions industrielles (DEPA 2015).

4.3 Émissions vers les eaux

Selon (DEPA 2015) les teneurs de bore dans les eaux usées en Europe seraient comprises entre 0,22 et 2,86 mg B/L. Les sources d'émissions de bore et ses composés proviennent de l'utilisation de détergents et savons, des centrales à charbon, des fonderies de cuivre, des industriels utilisant du bore dans leurs procédés de production, et de l'utilisation d'engrais contenant du bore. (DEPA 2015).

Selon la littérature consultée le niveau d'abattement des STEU conventionnelles pour le bore et ses composés est très faible. (DEPA 2015).

4.4 Émissions vers les sols

Selon (DEPA 2015) les principales sources d'émissions de bore et de ses composés vers le sol sont dues à l'irrigation agricole et aux rejets via les eaux usées.

4.5 Pollutions historiques et accidentelles

- Base InfoSols

La base de données InfoSols¹⁸ compile les données relatives aux pollutions des sols de deux bases de données : BASOL (base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués) et SIS (Secteurs d'Information sur les Sols).

A la date de rédaction de cette fiche, 21 sites sont répertoriés dans cette base de données (période 1999-2019) pour une pollution (potentielle ou avérée) au bore et ses composés, et concernent tous une pollution des eaux souterraines.

Ces sites font l'objet d'instructions pour surveillance environnementale.

Les secteurs d'activité des sites concernés sont listés dans le Tableau 13 ci-dessous (notons que les activités de ces secteurs sont en accord avec les utilisations identifiées dans la partie 3).

Tableau 13. Secteurs d'activité des sites référencés dans la base Infosols pour une (potentielle) pollution au naphthalène

Activité	Nombre de sites
Mécanique, traitements des surfaces	1
Traitement du bois	4
Regroupement, reconditionnement de déchets	1
Centrales électriques thermiques	1
Produits en bois, ameublement (fabrication de)	1
Traitement de surface	1
Scierie, fabrication de panneaux	1
Non précisé	9

- Base de données ARIA

La base de données ARIA¹⁹ (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) répertorie les incidents et accidents (d'origine industrielle, liés au transport de matières dangereuses, etc.) qui ont porté ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques ou à l'environnement.

Depuis 1999, 27 accidents impliquant soit du bore, du tétrahydroborate, de l'acide borique, du trichlorure de bore, du trichlorure de bore, du chlorure de bore, du trichloroborane, de l'étherate diéthylique de trifluorure de bore, du tétrahydroborate de sodium, du trifluorure de bore, du trifluoroborane, ont été déclarés sur la base de données ARIA.

Les accidents ont été regroupés comme suit :

- cinq accidents ou incendies dans une usine de produits pharmaceutiques
- six accidents dans une entreprise chimique
- onze fuites de trichlorure de bore dans une usine de production de gaz industriels ou usine chimique ou camion en transportant
- Incendie dans une usine de munitions
- trois incendies dans une usine produisant des airbags
- une fuite d'eau borée depuis d'une usine d'enrichissement d'uranium
- une explosion sur un site de recherche et de développement de matériaux non-nucléaires de haute technologie d'un centre de recherche nucléaire

¹⁸ <https://monaiot.developpement-durable.gouv.fr/actualite/lancement-dinfosols>

¹⁹ <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

5 Devenir et présence dans l'environnement

5.1 Comportement dans l'environnement

5.1.1 Dans l'atmosphère

Le bore atmosphérique peut se présenter sous forme de matière particulaire ou d'aérosols tels que les borures, les oxydes de bore, les borates, les boranes, les composés organoborés et trihalogénés du bore. Cependant certaines études de surveillance dans l'air ont aussi décelé de l'acide borique en phase gazeuse (Anderson, Kitto et al. 1994, Cheng, Hack et al. 2009).

Il n'y a aucune information disponible qui suggère que les composés particuliers du bore sont transformés ou dégradés dans l'atmosphère. Les composés de bore en phase particulaire seraient éliminés de l'atmosphère par dépôt humide et sec (US EPA 2008, ATSDR 2010, Santé Canada 2016, Santé Canada 2020). La demi-vie du bore et de ses composés en suspension dans l'air est généralement de l'ordre de quelques jours, selon la taille de la particule et les conditions atmosphériques. Les trihalogénures de bore volatils sont sensibles à l'humidité et s'hydrolysent en acide borique et en l'acide halogéné correspondant (Culver, Smith et al. 1994).

5.1.2 Dans le milieu aquatique

La plupart des espèces minérales du bore significatives du point de vue environnemental sont très solubles dans l'eau (ATSDR 2010), et leur solubilité augmente avec la température (Coughlin 1996). Par conséquent, les composés de bore présents dans l'eau peuvent être difficilement extraits par des mécanismes naturels (Butterwick, de Oude et al. 1989). Leur distribution dans l'environnement dépend de la géologie, des précipitations, des taux d'évaporation et du type d'aquifère (Coughlin 1996). À un pH acide, le bore présent dans une solution prend le plus souvent la forme d'un acide borique non dissocié, tandis qu'à un pH alcalin (supérieur à une valeur pKa de 9,2), il est surtout présent sous forme d'ions borate; les deux formes sont très solubles et stables et ne devraient pas se dégrader davantage (CCME 2009).

Le seul mécanisme notable pouvant influencer sur le devenir du bore dans l'eau réside dans la réaction d'adsorption-désorption avec le sol et les sédiments, dont l'importance est fonction du pH de l'eau, de la concentration en bore dans l'eau et de la composition chimique du sol (CCME 2009, ATSDR 2010). La plus forte adsorption est observée dans les eaux dont le pH se situe entre 7,5 et 9,0 (ATSDR 2010). Des pH plus élevés tendent à diminuer l'adsorption du bore (Goldberg and Su 2007) à mesure que les espèces de bore et les charges sur les surfaces adsorbantes deviennent moins favorables (US EPA 2008).

5.1.3 Dans le milieu terrestre

Le bore est présent dans les sols sous quatre formes principales : hydrosoluble, adsorbé, lié à la matière organique et fixé dans l'argile et les minéraux. Le bore qui est lié et fixé dans l'argile et les minéraux (p. ex., tourmaline) est insoluble et non biodisponible à long terme. Le bore adsorbé ou lié à la matière organique est également insoluble, mais peut être libéré par désorption et dégradation des matières organiques sous forme d'acide borique (Gupta 1993). Les principales surfaces sur lesquelles le bore est adsorbé comprennent les oxydes d'aluminium et de fer, les minéraux argileux, le carbonate de calcium et la matière organique (US EPA 2008), l'oxyde d'aluminium amorphe jouant vraisemblablement le rôle le plus important (ATSDR 2010).

Dans le sol, la plupart des composés du bore sont transformés en borates en raison de la présence d'humidité et ne sont pas dégradés mais éliminés par lessivage ou par assimilation par les plantes.

5.2 Présence dans l'environnement

Cette partie fait référence au bore et à ses composés exprimés en bore car dans la très grande majorité des mesures effectuées seul celui-ci est analysé.

Le bore n'est pas présent à l'état élémentaire dans l'environnement.

5.2.1 Dans le milieu aquatique

La base de données Naïades²⁰ recense, entre 2017 et 2019, 10 535 analyses de bore dans des eaux dont 10 507 sont qualifiées de correctes. Parmi ces mesures, 9 125 (soit 87%) présentent des concentrations de bore supérieures à la limite de quantification comprise entre 0,005 et 10 µg/L. La concentration médiane en bore est de 14 µg/L. La valeur du 75^{ème} percentile est 21 µg/L et la valeur du 95^{ème} percentile est 42,9 µg/L. La concentration maximale en bore s'élevait à 5 128µg/L.

Entre 2017 et 2019 la base de données Naïades recense 980 analyses du bore sur les supports sédiment et matières en suspension et 968 sont qualifiées de correctes. Parmi celles-ci, 593 mesures (soit 61%) présentent des concentrations de bore supérieures à la limite de quantification comprise entre 1 et 37,8 mg/kg. La concentration médiane s'élève à 11,5 mg/kg. La valeur du 75^{ème} percentile est 33,5 mg/kg et la valeur du 95^{ème} percentile est 81,7 mg/kg. La concentration maximale s'élevait à 771 mg/kg.

Le bore et ses composés sont présents à une concentration d'environ 4,5 mg/L dans l'eau de mer (Blazy P. and Jdid E.A. 2011).

5.2.2 Dans les eaux souterraines

La base de données ADES recense, entre 2017 et 2019, 14 359 points d'eau analysés, pour 26 642 analyses effectuées. Parmi celles-ci, 18 672 mesures (soit 70%) présentent des concentrations supérieures à la limite de quantification comprise entre 0 et 5 µg/L. La concentration médiane s'élève à 14,4 µg/L/ La valeur du 75^{ème} percentile est 29,9 µg/L et la valeur du 95^{ème} percentile est 89µg/L. La concentration maximale s'élevait à 720 000 µg/L (720 mg/L).

5.2.3 Dans le sol

Selon (Blazy P. and Jdid E.A. 2011) la présence de bore dans le sol est d'environ 3 ppm (ou g/t) dans la croûte terrestre, 10 ppm dans la croûte continentale.

Les minerais de borates ne sont pas répartis de manière homogène sur la terre. Les principaux dépôts de borates sont situés à proximité des zones de convergence des plaques où l'activité volcanique a été forte avec un environnement évaporite non marin.

5.2.4 Dans l'atmosphère

Des mesures ont été réalisées en France lors de pluies. Les concentrations retrouvées étaient entre 0,002 à 0,0045 mg de bore par litre de pluie (DEPA 2015).

6 Perspectives de réduction des émissions

6.1 Réduction des émissions de Bore

La littérature consultée n'a pas permis d'identifier des mesures de réduction des émissions de bore et de ses composés vers l'environnement.

6.2 Alternatives aux usages des Borates

Cette partie présente de manière non exhaustive les substituts aux usages de borates listés dans la partie « usage » ci avant. Cette partie s'appuie principalement sur les références suivantes : (DEPA 2015) et (RPA 2008) ainsi que sur les entretiens réalisés dans le cadre de ce travail.

²⁰ <http://naiades.eaufrance.fr/>

6.2.1 Production de verres

Selon plusieurs sources (DEPA 2015), (Hubert M. and Jans Faber A. 2014), (Thierry Advocat and al. 2008) et (RPA 2008) et selon les entretiens réalisés dans le cadre de ce travail^{13 14} il n'existerait pas de substitut aux borates dans le secteur de production du verre permettant de fournir simultanément aux verres les propriétés de réduction du point de fusion et d'amélioration du réseau vitreux (résistance aux produits chimiques et à l'altération par l'eau, résistance aux hautes températures et aux larges gradients thermiques, faible dilatation thermique). En effet le renforcement vitreux est propre à la structure du bore (forme triangulaire ou tétraédrique) et à ses liaisons covalentes uniques.

Néanmoins, depuis une vingtaine d'années les industriels essaieraient de réduire la part d'oxyde de bore dans les verres et fibres de verre pour réduire les coûts de production (Berthereau A. and Dallies E. 2008).

6.2.2 Fibres de verre

La quantité de bore dans les fibres de verre borosilicaté, a été réduite à 5% en poids de B_2O_3 . De plus, des fibres de verre sans bore sont déjà disponibles sur le marché. Selon (Berthereau A. and Dallies E. 2008) et (Sundaram S. 2003) les fibres de verre E-CR combinent les propriétés électriques et mécaniques des verres E (produits à base de bore) et sont résistants à la corrosion. Les verres E-CR sont composés de silicate de calcium et d'alumine et ont une très faible teneur en oxydes alcalins (Na_2O et K_2O). La résistance aux acides est particulièrement améliorée par comparaison aux verres E. Le verre E-CR pourrait remplacer les verres E dans toutes les applications.

Les fibres de verre borosilicaté utilisées dans l'isolation peuvent être substituées par d'autres matériaux isolants comme des mousses, des produits à base de cellulose et d'autres types de laines de verre. La référence ne précise pas le type de laine de verre (U.S Geological Survey 2021).

6.2.3 Emaux et frites de verre

Selon les industriels enquêtés dans le rapport (ECHA 2015) il n'y aurait pas d'alternative aux borates pour la production d'émaux et de frites de verre.

Néanmoins selon (U.S Geological Survey 2021) certains phosphates pourraient substituer les borates utilisés pour la production des émaux. La référence ne donne toutefois pas plus de précision sur ces substituts éventuels.

6.2.4 Engrais

Il n'y a pas d'alternative à l'élément bore en agriculture et en sylviculture (ECHA 2015) et (DEPA 2015), car il s'agit d'un élément essentiel à la croissance des végétaux.

6.2.5 Savons et détergents

Il ne semble pas exister à ce jour des substituts aux tétraborates et à l'acide borique pour leurs propriétés stabilisatrices d'enzymes dans les lessives. Le percarbonate de sodium peut être utilisé mais n'a pas la même efficacité stabilisatrice surtout dans les pays chauds et humides. Selon (DEPA 2015) celui-ci aurait néanmoins remplacé une grande partie des borates pour cet usage.

Dans les savons, le bore peut être remplacé par des sels de sodium et de potassium ou des acides gras qui peuvent être des agents nettoyants ou émulsifiants (U.S Geological Survey 2021).

6.2.6 Isolation en cellulose

Selon (DEPA 2015) il n'existe pas d'alternative au même prix que l'acide borique comme retardateur de flamme dans les isolations en cellulose.

6.2.7 Adhésif

le sodium acétate selon (DEPA 2015) serait un substitut à l'acide borique utilisé dans les résines aminoplastes utilisées pour la production de panneaux agglomérés.

6.2.8 Alternatives à d'autres utilisations des borates

Pour l'utilisation de borates dans les liquides d'usinage pour leurs propriétés anti-corrosives et de tampon, il n'existe pas selon les industriels de substituts à coût égal ou inférieur présentant la même efficacité (DEPA 2015).

Dans les liquides réfrigérants, l'acide borique utilisé comme agent bactéricide peut être substitué par de l'acide lactique (DEPA 2015).

Comme pour les verres borosilicatés, il n'existe pas de substituts aux borates permettant de substituer simultanément les propriétés retardatrices de flamme, anticorrosion stabilisateur de pH dans les peintures et les revêtements.

La pâte à modeler « slime » peut être substituée par une autre pâte contenant de la farine, de l'amidon, de la poudre d'œuf, de l'huile de palme, de la maltodextrine et d'autres ingrédients alimentaires (DEPA 2015).

6.3 Alternatives à certaines utilisations du bore élémentaire

La littérature consultée n'a pas permis d'identifier des substituts aux usages du bore élémentaires listés dans la partie utilisation.

7 Conclusion

Le bore, de symbole B et numéro atomique 5, est un élément qui appartient au groupe III A du tableau périodique des éléments et a un état d'oxydation de +3. C'est un élément non métallique semi-conducteur dont les propriétés chimiques sont intermédiaires entre celles des métaux et des métalloïdes. Le bore est un puissant réducteur, capable de se combiner notamment aux métaux, à l'oxygène, à l'azote et au carbone. Il possède deux isotopes ^{10}B et ^{11}B .

L'élément bore n'existe pas seul dans la nature, on le retrouve combiné avec de l'oxygène ou sous forme de sels appelés borates. Les gisements de borates exploitables sont principalement situés en Turquie (70% des réserves mondiales), aux Etats-Unis, dans le massif andin et au Tibet. Il n'y a pas de mines de borates en France. Quatre minéraux fournissent 90% de la production mondiale de borates ; il s'agit du borax, la kernite, la colémanite, l'ulexite. Les réserves mondiales connues de borates en 2000 étaient de 363 000 millions de tonnes de B_2O_3 .

Plusieurs centaines d'usages du bore et ses composés sont référencés dans la littérature mais une très grande partie de ces usages concerne les borates. Pour cette raison les usages présentés dans cette fiche technico-économique se réfèrent presque exclusivement aux usages de cette famille de substances. Les borates sont utilisés en majorité pour la production de verres et de céramiques, la production d'engrais et la production de savons et de détergents. Depuis peu, la consommation de borates pour la production de savons et de détergents a très fortement diminué en Europe au profit du percarbonate de sodium. Les borates sont également utilisés pour leurs propriétés multiples suivantes: retardateur de flamme, anticorrosion, antioxydante et comme stabilisateur de pH, biocide, colorant ... Enfin les borates sont également utilisés dans le secteur nucléaire notamment dans les circuits primaires (au contact avec le combustible) pour absorber les neutrons émis par les réactions de fission.

Dans le cadre de ce travail bibliographique nous n'avons pas identifié de substituts aux borates utilisés dans le secteur du verre et pour la production d'engrais. Cette absence de substituts aux borates dans le secteur du verre a été confirmée par enquête auprès d'experts.

Les sources d'émissions anthropiques de bore et de ses composés seraient les utilisations de détergents et savons, les centrales à charbon, les fonderies de cuivre, les industriels utilisant du bore dans leurs procédés de production ainsi que l'agriculture avec l'utilisation d'engrais contenant du bore (DEPA 2015). Selon la littérature consultée, le niveau d'abattement des STEU conventionnelles pour le bore et ses composés est très faible. (DEPA 2015). La France ne disposant pas de mines de borates, nous n'avons approfondi la question des émissions de borates depuis les mines.

Les trois sources d'émissions vers l'atmosphère les plus importantes sont les l'évaporation marine, les éruptions volcaniques et les émissions industrielles.

8 Références

8.1 Bibliographie

- AEGIS <http://www.aegisia.com/frequently-asked-questions/> ANSM (2012). 'Point d'information – Utilisation du Triclosan en tant que conservateur dans les produits cosmétiques : les évolutions en cours au niveau européen', 1 octobre 2012, <http://ansm.sante.fr/S-informer/Points-d-information-Points-d-information/Utilisation-du-triclosan-en-tant-que-conservateur-dans-les-produits-cosmetiques-les-evolutions-en-cours-au-niveau-europeen-Point-d-information>
- Anderson, D. L., M. E. Kitto, L. McCarthy and W. H. Zoller (1994). "Sources and atmospheric distribution of particulate and gas-phase boron." *Atmospheric Environment* **28**(8): 1401-1410.
- Anses (2019). AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à la proposition de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel. Evaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le trifluorure de bore (CAS n°7637-07-2), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- ATSDR. (2010). "Toxicological Profile for Boron".
- Baker S.J. and al. (2009). "Therapeutic potential of boron-containing compounds." *Future Med Chem* **1**(7): 1275-1288.
- Bauer, M. J., & Herrmann, R. (1997). Estimation of the environmental contamination by phthalic acid esters leaching from household wastes. *Science of The Total Environment*, 208(1–2), 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)00272-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)00272-6) (1997).
- Berthereau A. and Dallies E. (2008). "Fibres de verre de renforcement." *Techniques de l'ingénieur Matériaux composites : présentation et renforts base documentaire : TIB142DUO*.
- Blazy P. and Jdid E.A. (2011). "Bore." *Techniques de l'ingénieur Fabrication des grands produits industriels en chimie et pétrochimie base documentaire : TIB319DUO*.
- Boron Specialties (2020) "Product overview : Decaborane."
- Butterwick, L., N. de Oude and K. Raymond (1989). "Safety assessment of boron in aquatic and terrestrial environments." *Ecotoxicology and environmental safety* **17**(3): 339-371.
- CCME (2009). Scientific criteria document for the development of the Canadian Water Quality Guidelines for Boron. PN 1437, ISBN 978-1-896997-89-6 PDF., Conseil canadien des ministres de l'environnement Conseil canadien des ministres de l'environnement.
- Cheng, C.-M., P. Hack, P. Chu, Y.-N. Chang, T.-Y. Lin, C.-S. Ko, P.-H. Chiang, C.-C. He, Y.-M. Lai and W.-P. Pan (2009). "Partitioning of mercury, arsenic, selenium, boron, and chloride in a full-scale coal combustion process equipped with selective catalytic reduction, electrostatic precipitation, and flue gas desulfurization systems." *Energy & fuels* **23**(10): 4805-4816.
- Commission Européenne (2008). Use of borates in glass and glass fibre.
- Coughlin, J. R. (1996). "Inorganic borates: Chemistry, human exposure, and health and regulatory guidelines." *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine: The Official Publication of the International Society for Trace Element Research in Humans* **9**(4): 137-151.
- Crangle R.D. (2016). Boron USGS
- Culver, B., R. Smith, R. Brotherton, P. Strong and T. Gray (1994). "Boron in Patty's Industrial Hygiene and Toxicology." eds. GD Clayton and FE Clayton: 4411.
- Danemark (2010). Disodium tetraborate, anhydrous : PROPOSAL FOR IDENTIFICATION OF A SUBSTANCE AS A CMR CAT 1 OR 2, PBT, vPvB OR A SUBSTANCE OF AN EQUIVALENT LEVEL OF CONCERN. ANNEX XV – IDENTIFICATION OF SVHC.
- DEPA (2015). Survey of Boric acid and sodium borates (borax), Danish Ministry of the Environment. **139**.
- Ding D. (2005). "A study on the ignition of boron / potassium nitrate mixture."
- Douanes et droits indirects. (2021). "Le chiffre du commerce extérieur."
- ECHA. "EU pesticides database." Retrieved decembre, 2021, from https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=as.details&as_id=1383.

ECHA (2010). Disodium tetraborate, anhydrous : PROPOSAL FOR IDENTIFICATION OF A SUBSTANCE AS A CMR CAT 1 OR 2, PBT, vPvB OR A SUBSTANCE OF AN EQUIVALENT LEVEL OF CONCERN. ANNEX XV – IDENTIFICATION OF SVHC.

ECHA (2015). ANNEX XV REPORT – IDENTIFICATION OF SODIUM PERBORATE; PERBORIC ACID, SODIUM SALT AS SVHC.

ECHA (2022). Information on chemicals, European Chemicals Agency.

EDF (2020). CENTRALES NUCLÉAIRES ET ENVIRONNEMENT.

ELEMENTARIUM. "Ferrobore." from <https://lelementarium.fr/product/ferrobore/>.

ELEMENTARIUM. (2021). "Borates." 2021, from <https://lelementarium.fr/product/borates/>.

ELEMENTARIUM. (2021). "Bore." 2021, from <https://lelementarium.fr/element-fiche/bore/>.

Etimaden. (2019). "Boron in the world." from <https://www.etimaden.gov.tr/en/boron-in-the-world>.

Falcy, M. (2012). "Bores et composés." Encyclopédie médico-chirurgicale, EMC, Pathologie professionnelle et de l'environnement. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

Faure S. and Papin G. (2019). Composition lubrifiante pour prévenir le pré-allumage. Total Marketing Services SA. France

Federal Institute for Occupational Safety and Health (2021). Substitution Support Portal,.

Fondation pour la recherche médicale. (2021). "Radiothérapie : une technique associant neutrons et bore pour une plus grande efficacité et une plus grande sûreté." from <https://www.frm.org/recherches-cancers/radiotherapie/neutron-bore>.

Goldberg, S. and C. Su (2007). New advances in boron soil chemistry. Advances in plant and animal boron nutrition, Springer: 313-330.

Gupta, U. C. (1993). Boron and its role in crop production, CRC press.

Helvaci C. and al. (2017). "Borate deposits: An overview and future forecast with regard to mineral deposits." Journal of Boron 2: 59-70.

Hubert M. and Jans Faber A. (2014). "On the structural role of boron in borosilicate glasses." European Journal of Glass Science and Technology Part B Physics and Chemistry of Glasses 55: 136 - 158.

India ministry of mines (2021). "Indian Minerals Yearbook 2020."

INRS. (2011). "Acide borique -Fiche n°138."

INRS. (2012). "Tétraborate de disodium Borax - Fiche n°287."

INRS. (2014). "Boranes - Fiche n°188."

INRS. (2021). "Liste des VLEP réglementaires françaises. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques."

Knochel P. and al (2014). Comprehensive Organic Synthesis (Second Edition).

Larousse (2020).

Moravej M. (2019) "Never Another Chernobyl: Boron in Nuclear Energy Helps Ensure Safety."

Nendza, M. (2003). Entwicklung von Umweltqualitätsnormen zum Schutz aquatischer Biota in Oberflächengewässern, UMWELTBUNDESAMTES.

NRA (1999). Guidelines for managing water quality impacts within UK European marine sites, National River Authority.

Perrier G. (2008). "La Turquie s'indigne du classement du bore par Bruxelles sur la liste des produits toxiques." Le monde

PubChem (2021). chemical information from authoritative sources, National Library of Medicine.

REACH (2016). "Committee for Risk Assessment and for Socio-economic Analysis : Backgroup document. ."

Reptox (2021). Répertoire toxicologique. Montréal, Québec, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Rio Tinto. (2021). "Borates in glasses." Retrieved Août 2021, from <https://www.borax.com/>.

- Rio Tinto. (2022). "BORON IN CLEANERS AND DETERGENTS." from <https://www.borax.com/products/applications/cleaners-detergents>.
- RIVM (2010). Environmental risk limits for boron, National Institute for public Health and the Environment.
- RPA (2008). Assessment of the Risk to Consumers from Borates and the Impact of Potential Restrictions on their Marketing and Use.
- Santé Canada (2016). Ébauche d'évaluation préalable - Acide borique, ses sels et ses précurseurs, Santé Canada.
- Santé Canada (2020). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Le bore dans l'eau potable - Document technique pour consultation publique, Santé Canada.
- Sundaram S. (2003). "Boron-free glass fibres — the trend for the future?" Reinforced Plastics **40**: 36-37.
- Thierry Advocat and e. al. (2008). "Vitrification des déchets radioactifs." Techniques de l'ingénieur **BN3664 V1**.
- U.S Geological Survey (2021). Mineral Commodity Summaries : Boron.
- UFC Que choisir. (2018). "E284 Acide borique." Retrieved Août 2021, from <https://www.quechoisir.org/comparatif-additifs-alimentaires-n56877/e284-acide-borique-p223385/>.
- Union Européenne (2003). "RÈGLEMENT (CE) no 2003/2003 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 13 octobre 2003 relatif aux engrais." Official Journal
- University of Calgary. (2021). "Energy Education Control Rod." 2022, from https://energyeducation.ca/encyclopedia/Control_rod#cite_note-RE1-2.
- US EPA (2008). Health Effects Support Document for Boron. Washington, U.S. Environmental Protection Agency.
- USGS (2015). 2015 Minerals Yearbook : BORON.
- USGS (2018). 2018 Minerals Yearbook : BORON [ADVANCE RELEASE]

