BORATES 2022

État naturel

La teneur moyenne de l'écorce terrestre en bore est de l'ordre de 3 ppm, celle de l'eau de mer de 4 à 5 mg/L.

Minerais : les gisements exploitables, résultants d'une activité volcanique et d'un climat aride, se rencontrent principalement en Turquie, aux États-Unis, en Californie, dans le désert de Mojave, dans le massif andin et au Tibet.

Les principaux minéraux exploités sont le borax ($Na_2B_4O_7,10H_2O$) appelé tincal, aux États-Unis, la kernite ($Na_2B_4O_7,4H_2O$, associée au borax), la colémanite ($Ca_2B_6O_{11},5H_2O$), exploitée principalement en Turquie et l'ulexite ($NaCaB_5O_9,8H_2O$) exploitée principalement en Amérique du Sud. Ces 4 minéraux fournissent 90 % de la production mondiale.

Les autres minéraux exploités sont nombreux. Parmi ceux-ci : la pricéite ($Ca_2B_{10}O_{19},7H_2O$, en Turquie), la szaibelyite ($MgBO_2(OH)$, en Russie), la sassolite ($B(OH)_2$), la boracite ($Mg_3B_7O_{13}Cl$)...

Exploitations minières : les deux principaux gisements mondiaux, exploités à ciel ouvert, contiennent de moins de 50 à plus de 80 % de borates. Ils sont situés en Turquie et aux États-Unis, en Californie.

En Turquie, les gisements exploités sont situés entre la mer Égée et la ville de Kütahya (250 km à l'ouest d'Ankara). L'ensemble de la production est contrôlé par le groupe d'État Eti Madem avec quatre exploitations principales :

- Emet : gisement découvert en 1956, produisant 1 million de t/an de minerai de colémanite contenant de 28 à 30 % de B_2O_3.
- Kirka : gisement découvert vers 1970, produisant 2,5 millions de t/an de minerai de borax contenant 26 % de B_2O_3.
- Bigadiç : produisant 800 000 t/an de minerais d'ulexite et de colémanite contenant de 29 à 31 % de B_2O_3.
- Kestelek : produisant de la colémanite.

Aux États-Unis, en Californie, les gisements sont ceux de :

- Boron : découvert en 1913 et exploité, souterrainement à partir de 1927 puis, à ciel ouvert, depuis 1957. Le gisement est situé à 150 km au Nord-Est de Los Angeles dans le désert de Mojave. La mine occupe une surface de 2,8 x 3,2 km avec une profondeur de 230 m. Les principaux borates sont présents dans le gisement mais le principal minerai extrait par Rio Tinto Minerals est le borax (tincal), avec une production, en 2022, de 532 000 t exprimées en B_2O_3 et des réserves de 14 millions de t exprimées en B_2O_3.
- Searles Lake : découvert en 1863, dans un lac au centre d'une vallée désertique située entre la Vallée de la Mort et Boron. Dans le lac, les ions borates, à une teneur de 1,5 %, sont associés à de nombreux autres ions, la production principale étant celle de carbonate de

sodium. Exploité par Searles Valley Minerals, filiale du groupe indien Nirma, avec une capacité de production de 110 000 t/an exprimées en B_2O_3.

- La société 5E Advenced Materials développe un projet d'exploitation minière à Cady Borates. Le gisement est constitué de colémanite avec des ressources estimées de 109 millions de t renfermant 6,52 % de B_2O_3 et 324 ppm de lithium. La production prévue est de 82 000 t/an d'acide borique pouvant être portée à 500 000 t/an et de 72 000 t/an de sulfate de potassium pouvant être portée à 217 000 t/an. Par ailleurs, 5E Advanced Materials développe, dans le Nevada, dans le comté de Churchill, le projet Salt Wells, sur un gisement renfermant 1 % de B_2O_3 et 810 ppm de Li.

Productions

[fc-chart id="production-borates"]

Production minière : en 2022.

	en milliers de t de produits		
Turquie	1 700	Pérou	250
États-Unis (estimation)	600	Bolivie	200
Chili	300	Argentine	130
Chine	300	Russie	80

Source : USGS

En 2016, les capacités mondiales de production sont de 5,6 millions de t, exprimées en B_2O_3.

Au Chili, la société Quiborax, exploite, à 4 050 m d'altitude, les salines de Surire et Ascotan renfermant de l'ulexite, avec une capacité de production de 110 000 t/an d'acide borique et 30 000 t/an de concentré de minerai. La production est à 99 % exportée. Les réserves sont de 1 500 millions de t d'ulexite correspondant à 30 millions de t de B_2O_3.

En Russie, la société Mining Chemical Company Russian Bor exploite le gisement de Dalnegorsk, dans la région de Vladivostok.

Au Kazakhstan, est exploité le lac Inder dans la région d'Atyrau.

Au Pérou, la société Inkabor exploite la Laguna Salinas.

En Bolivie, la Socomirg (Sociedad Collectiva Minera Rio Grande) exploite le salar Uyuni.

En Argentine, la production provient de la région de Puna, au Nord-Ouest du pays. Les principales mines, Tincalaya et Sijes, sont exploitées, à ciel ouvert, à 4 100 m d'altitude, par Borax Argentina, filiale du groupe Allkem qui résulte de la fusion entre Orocobre et Galaxy Resources. En 2021-22, les ventes ont porté sur 53 334 t de produits (concentrés de minerai, borax, acide borique). La vente de cette activité par Allkem a été annoncée pour fin 2022.
La société Minera Santa Rita, exploite le Salar Hombre Muerto, à 4 100 m d'altitude, dans la province de Catamarca. La production est de 60 000 t/an avec des réserves de 2 millions de t.

[fc-chart id="reserves-borates"]

Réserves de borates : en 2021.

	Répartition en %		
Turquie	73 %	Pérou	2 %

Russie	8 %	Serbie	2 %
États-Unis	6 %	Kazakhstan	1 %
Chili	3 %	Bolivie	1 %
Chine	3 %	Argentine	1 %

Source : Eti Maden

Les réserves de Turquie sont constituées à 76 % de colémanite, 22 % de borax et 2 % d'ulexite.

Le projet de la mine lithium-borate de Jadar, près de la ville de Loznica, en Serbie est développé par Rio Tinto. Il renferme un minéral, la jadarite ($Na_2OLi_2O(SiO_2)_2(B_2O_3)_3H_2O$), connu seulement dans ce gisement. Les réserves estimées sont de 16,6 millions de t de minerai renfermant 13,4 % de B_2O_3 et 1,81 % de Li_2O. La production pourrait atteindre 160 000 t/an comptées en B_2O_3 d'acide borique ainsi que 255 000 t/an de sulfate de sodium coproduit et 55 000 t/an de carbonate de lithium. En janvier 2022, face à l'opposition des populations locales le gouvernement serbe a annulé l'autorisation d'exploitation.

Principaux producteurs :

- Eti Madem, groupe d'État, contrôle la production turque. En 2021, a produit 2,54 millions de t de composés de bore, exprimées en B_2O_3. Devenu n°1 mondial en 2005, le groupe approvisionne, en 2021, 62 % de la demande mondiale. Possède des capacités de production de 2,81 millions de t/an exprimées en B_2O_3, situées à :
    - Kirka avec 1,34 million de t/an de borax pentahydraté, 80 000 t/an de borax décahydraté, 24 000 t/an de borax anhydre,
    - Emet avec 290 000 t/an d'acide borique,
    - Bigadiç avec 700 000 t/an de colémanite et d'ulexite,
    - Bandirma avec 150 000 t/an de borax décahydraté, 115 000 t/an de borax pentahydraté, 95 000 t/an de borax anhydre, 8 000 t/an d'oxyde de bore et de borax anhydre.
- Rio Tinto Minerals filiale du groupe minier britannique Rio Tinto qui exploite, aux États-Unis, le gisement de Boron. Les capacités de production sont de 3 millions de t de minerai et 1 million de t de composés de bore. En 2022, la production minière exprimée en B_2O_3 est de 532 000 t. En France, ce groupe est présent à travers sa filiale Borax Français. Les minerais produits par la société, ou importés de Turquie, sont raffinés en Californie et en France. Le groupe assure 23 % de la demande mondiale.

Commerce international de borates naturels, en 2022.

Principaux pays exportateurs, sur un total de 1,204 million de t :

en tonnes de produits

Turquie	749 615	Pays Bas	17 735
Bolivie	294 222	Espagne	5 012
Argentine	59 998	Malaisie	4 930
Autriche	33 046	Slovénie	4 740
Chili	22 085	États-Unis	2 363

Source : ITC

Les exportations de la Turquie sont destinées à la Chine pour 47 %, à l'Inde pour 8 %, aux États-Unis pour 7 %.

Principaux pays importateurs sur un total de 1,215 million de t, en 2021 :

	en tonnes de produits		
Chine	417 127	Espagne	41 736
Brésil	244 241	Taipei chinois	29 505
Inde	68 668	Indonésie	24 710
Malaisie	54 085	Autriche	24 480
États-Unis	46 043	Japon	20 560

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent à 91 % de Turquie, 8 % de Bolivie.

Traitement des minerais

Dans le cas de gisements de borax, le minerai broyé est mis en présence d'eau à l'ébullition. Le borax passe en solution et est ainsi séparé de la gangue insoluble. Il est récupéré par évaporation de l'eau, cristallisation avec 5 (pentahydraté) ou 10 (décahydraté) molécules d'eau puis centrifugation. Les produits sont ensuite séchés dans des fours tournants.

On obtient ainsi le principal produit commercialisé, le borax ou tétraborate de disodium décahydraté ($Na_2B_4O_7,10H_2O$). La consommation d'énergie est de l'ordre de 8,6 GJ/t de B_2O_3. Le borax anhydre, $Na_2B_4O_7$, est obtenu par chauffage vers 400°C.

L'acide borique (H_3BO_3 ou acide orthoborique) est préparé par attaque sulfurique du borax :

$$Na_2B_4O_7,10H_2O + \underline{H_2SO_4} = 4\ H_3BO_3 + \underline{Na_2SO_4} + 5\ H_2O$$

Le sulfate de sodium ainsi coproduit a de nombreuses utilisations dans les produits détergents, l'industrie du verre..., voir ce chapitre.

L'oxyde de bore (B_2O_3) est obtenu par déshydratation, à 300°C, de l'acide borique :

$$2\ H_3BO_3 = B_2O_3 + 3\ H_2O$$

Dans le cas de minerai de colémanite, celui-ci est soit directement utilisé après purification, soit il subit un traitement à l'aide de carbonate de sodium qui donne le borax ou une attaque sulfurique qui donne l'acide borique.

Dans le cas des saumures du lac Searles, une cristallisation fractionnée donne le borax ou une extraction par solvant et acidification donne l'acide borique.

Commerce international d'oxyde de bore et d'acide borique : en 2022, en tonnes de produits.

Principaux pays exportateurs : sur un total estimé à 503 651 t :

	en tonnes de produits		
États-Unis	247 644	Argentine	16 008
Turquie (estimation), en 2021	250 000	Royaume Uni	7 089
Chili	85 513	Lettonie	5 493
Russie	63 781	Taipei chinois	5 065

Pérou	28 665	Pologne	4 873

Source : ITC

Les exportations des États-Unis sont destinées à la Chine pour 33 %, aux Pays Bas pour 20 %, à la Corée du Sud pour 17 %, au Japon pour 8 %.

Principaux pays importateurs :

en tonnes de produits

Chine	296 797	Japon	33 045
Brésil	59 183	France	25 916
Corée du Sud	51 691	Malaisie	23 625
États-Unis	48 159	Allemagne	21 563
Taipei chinois	46 945	Maroc	16 531

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent de Turquie pour 37 %, des États-Unis pour 27 %, de Russie pour 16 %, du Chili pour 15 %.

Commerce international de borates et perborates : en 2022, en tonnes de produits.

Principaux pays exportateurs : sur un total estimé à 1,6 million de t.

en tonnes de produits

Turquie (estimation)	800 000	Suède	13 561
États-Unis	672 885	Italie	11 008
Pays Bas	53 329	France	9 073
Pologne	29 975	Allemagne	8 127
Chine	18 836	Malaisie	6 829

Source : ITC

Les exportations des États-Unis sont destinées à la Chine pour 53 %, à l'Indonésie pour 9 %, au Canada pour 8 %.

Principaux pays importateurs :

en tonnes de produits

Chine	787 241	Canada	61 948
États-Unis	181 165	Pays Bas	59 965
Inde	114 131	Pologne	51 213
Allemagne	81 104	France	47 981
Indonésie	80 421	Japon	36 867

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent de Turquie pour 66 %, des États-Unis pour 34 %.

Situation française

En 2022.

Production :
Pas de production minière.

Production de divers borates à partir de minerais importés, à Coudequerque (59) par Borax Français, filiale de Rio Tinto. La capacité de production de l'usine est de 100 000 t/an de produits, soit 6 t/h de borax à partir de minerai importé des États-Unis et 10 t/h d'acide borique cristallisé à partir de colémanite importée de Turquie. La production est exportée à 80 %.

Commerce extérieur :
Borates naturels :

- Exportations : 34,7 t vers la Belgique à 61 %, l'Allemagne à 11 %, le Royaume Uni à 9 %, la Pologne à 8 %.
- Importations : 3 468 t du Luxembourg à 68 %, de Turquie à 25 %, d'Italie à 3 %.

Tétraborate anhydre et hydraté :

- Exportations : 6 960 t vers les Pays Bas à 41 %, l'Espagne à 30 %, l'Allemagne à 7 %.
- Importations : 45 429 t de Turquie à 78 %, des États-Unis à 3 %.

Autres borates :

- Exportations : 2 110 t vers l'Allemagne à 68 %, les États-Unis à 16 %, la Belgique à 6 %.
- Importations : 2 478 t de Belgique à 69 %, d'Allemagne à 11 %, des États-Unis à 6 %.

Perborates :

- Exportations : 1,673 t vers l'Allemagne à 37 %, l'Italie à 35 %, le Portugal à 18 %.
- Importations : 67 t d'Allemagne à 72 %, de Belgique à 21 %, de République tchèque 5 %.

Utilisations

Les principaux composés du bore sont utilisés, à plus de 99 % des quantités consommées, sous forme de borates ou de perborates.

Consommations : en 2021, la consommation mondiale est de 4,27 millions de t, exprimées en B_2O_3, à 52 % en Asie et Pacifique, 28 % en Amériques, 18 % en Europe, 1 % en Afrique, 1 % au Moyen Orient.

[fc-chart id="secteurs-dutilisation-bore"]

- Industrie du verre : les borates sont principalement employés dans l'élaboration des fibres de verre d'isolation et de renforcement de plastiques. Les fibres de verre d'isolation (laine de verre) contiennent de 4 à 5 % de B_2O_3, apporté sous forme de borax pentahydraté, qui facilite la fusion du verre, empêche la dévitrification et améliore la résistance à l'eau. Les fibres de renforcement de matières plastiques contiennent de 6 à 8 % de B_2O_3 introduit généralement sous forme de colémanite car ces fibres n'admettent pas des teneurs élevées en sodium. Ces fibres sont utilisées pour la fabrication de coques de voiliers, cannes à pêche et matériaux composites utilisés dans la furtivité (leur non-conductibilité et leur faible constante diélectrique les rendent transparents aux ondes radar).

  Ils sont également employés dans la fabrication du verre borosilicaté (Pyrex®) qui renferme de l'ordre de 12,5 % de B_2O_3 qui apporte la résistance aux chocs thermiques et aux acides. L'oxyde de bore est apporté sous forme de borax hydraté ou anhydre ou d'acide borique. En 2021, le verre borosilicaté représente 21 % de la consommation de produits de bore, la laine de verre 14 %, les fibres de verre 12 % et le verre pour écrans TFT et LCD 3 %.

- Émaux et glaçures céramiques : comme dans le cas des verres (les émaux et les glaçures sont des verres), l'oxyde de bore facilite la formation du verre et sa teneur permet d'ajuster les coefficients de dilatation thermique du support et du revêtement. Il augmente l'indice de réfraction et la résistance aux attaques chimiques et aqueuses.
- Agriculture : le bore est un oligoélément essentiel à la croissance et au développement des plantes (il est un des constituants des parois cellulaires). Des borates, sous forme de borax ou d'octoborate ($Na_2B_8O_{13},4H_2O$) peuvent être ajoutés aux engrais.
- Détergents : utilisation aux États-Unis sous forme de borax et en Europe et plus récemment aux États-Unis sous forme de perborates de sodium ($NaBO_3$) mono ou tétrahydratés. Les perborates entrent, à des teneurs de 10 à 20 % en masse, dans les lessives en poudre. Le monohydrate est utilisé dans les poudres compactes.
  Le perborate de sodium est fabriqué, après attaque par la soude (avec parfois ajout de Na_2CO_3) du borax qui donne une solution de métaborate de sodium, par précipitation à l'aide de H_2O_2 vers 20°C.

$$Na_2B_2O_4 + 2\ H_2O_2 + 6\ H_2O = 2\ NaBO_3,4H_2O$$

En Europe, la production est assurée par le groupe Solvay, dans son usine de Bad Hönningen, en Allemagne, par Evonik, en Allemagne, par Belinka Perkemija, filiale du groupe Kansai Helios, en Slovénie.
Les perborates qui libèrent H_2O_2 au-dessus de 60°C, qui ont été les principaux agents de blanchiment utilisés en Europe, sont actuellement remplacés par les percarbonates qui libèrent le peroxyde d'hydrogène à plus basse température.

- Sidérurgie et métallurgie : les borates dissolvent les oxydes métalliques et sont donc utilisés comme flux dans la soudure et le brasage (utilisation de borate de potassium) ainsi que pour favoriser, en métallurgie, l'obtention de laitiers fusibles. Cette propriété de dissolution des oxydes métalliques est utilisée en chimie, en analyse qualitative : en formant des perles de borax, on obtient des verres de couleurs caractéristiques des métaux dont les oxydes ont été dissous.
- L'acide borique est utilisé, en galvanoplastie dans les bains de nickelage.
- Le bore (voir cet élément) entre dans la composition d'alliages divers.

Autres utilisations :

- Peintures : le borate de zinc ($2ZnO,3B_2O_3,3,5H_2O$) est utilisé comme pigment anticorrosion.
- Inhibiteur de corrosion des métaux : par exemple dans les circuits de refroidissement d'eau des automobiles.
- Ignifugation : de fibres cellulosiques (par exemple dans les matelas en coton) et de plastiques sous forme de borax, acide borique, borate de zinc.
- Ciments et bétons : le borax ralenti leur vitesse de durcissement.
- Fongicide et insecticide : pour traiter les bois de construction, en particulier contre les termites.
- Pharmacie : antiseptiques, les borates, sont utilisés dans de nombreux produits d'usage courant : cosmétiques, produits d'hygiène…
- Centrales nucléaires : le bore et en particulier l'isotope naturel ^{10}B étant absorbeur de neutrons, des borates sont utilisées, en solution, dans le circuit primaire des réacteurs REP.

Lors de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, au Japon, l'eau déversée sur les réacteurs était additionnée de borax.

- Chimie : les borates sont les produits de départ de tous les composés du bore vus par ailleurs. L'acide borique est utilisé comme catalyseur lors de l'oxydation du cyclohexane destiné à produire le Nylon.