SILICES NATURELLES 2022

Diatomite ou kieselguhr

C'est une roche sédimentaire formée par l'accumulation de squelettes internes d'algues, les diatomées, fossilisées, avec une vitesse de sédimentation qui peut varier de quelques mm à 2,5 cm/an. Formée de silice amorphe, sous forme d'opale, elle contient près de 65 % d'eau avec, après séchage, une teneur de 86 à 94 % de silice. Après calcination à environ 1000°C, la granulométrie est de l'ordre de 5 à 15 µm. Elle possède une surface spécifique élevée.

Exploitations minières et traitements :

Dans les gisements sont présentes plusieurs variétés de diatomées. Si cela est possible, les diverses variétés, possédant leurs propres propriétés, sont extraites séparément. Sur des lieux proches des installations minières, des traitements de calcination sont effectués, après séchage, pour agglomérer, par frittage, les particules extraites. En effet, celles-ci sont pour la plupart des applications de dimensions trop faibles. Un traitement de calcination, en présence d'un fondant, le carbonate de sodium, vers 1000°C, permet une fusion limitée à la surface des particules qui agglomère les particules tout en évitant une fusion du cœur qui perdrait ses propriétés.

Les gisements français du Cantal se sont formés à la fin du Miocène, entre 9 et 5 millions d'années. Parmi les 12 000 espèces de diatomées ils renferment 3 espèces : cyclotella et melosira de symétrie radiale et synedra de symétrie axiale. Le gisement d'Auxillac-Foufouilloux, près de Murat, a une épaisseur de 20 m et une surface de 800 m sur 1,3 km. Il est recouvert par des moraines sur une épaisseur d'environ 25 m.

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

en milliers de t

États-Unis	1 100	Turquie	100

Danemark	400	Pérou	85
Chine	140	France	80
Argentine	100	Corée du Sud	65
Mexique	100	Russie	50

Source : USGS

En 2018, la production de l'Union européenne (Danemark, France...) est de 653 000 t. Dans le monde, il y a 23 pays producteurs.

Le plus important gisement mondial, exploité par le groupe français Imerys, se situe aux États-Unis, près de Lompoc, en Californie. Dans ce pays, en 2015, 79 % de la production provient de Californie et du Nevada. Au total, il y a, en 2021, 12 mines en activité.

Au Danemark, la roche exploitée principalement dans les îles de Fur et Mors, appelée molder, contient 30 % d'argile.

Réserves : les réserves mondiales sont estimées à 1 milliard de t dont 25 % aux États-Unis et 11 % en Chine.

Commerce international : en 2022.

Principaux pays exportateurs, sur un total de 264 392 t :

en tonnes

États-Unis	63 916	Danemark, en 2019	19 016
Pérou	33 030	Portugal	13 318
Allemagne	30 412	Argentine	12 270
Chine	28 728	Canada	8 642
France	26 853	Russie	7 908

Source : ITC

Les exportations des États-Unis sont destinées à 23 % au Canada, 17 % à l'Allemagne, 8 % à la Belgique.

Principaux pays importateurs :

en tonnes

Allemagne	33 649	France	14 838
Brésil	27 231	Canada	14 399
Danemark	20 491	États-Unis	13 503
Chili	17 633	Chine	12 739
Belgique	16 861	Autriche	12 679

Source : ITC

Les importations allemandes proviennent à 39 % du Danemark, 18 % des États-Unis, 12 % de Russie, 6 % de France.

Principaux producteurs :

- Le n°1 mondial est le groupe français Imerys, avec des exploitations, aux États-Unis, à Lompoc en Californie, Quincy au Nevada et Fernley dans l’État de Washington, en France, à

Murat (15), en Espagne, au Chili, en Chine, au Mexique, au Pérou et au Danemark après l'achat, en 2017, de la société Damolin.

- EP Minerals, aux États-Unis, à Lovelock, Clark et Fernley, dans le Nevada et à Vale dans l'Oregon. En mai 2018 a été acquis par US Silica. La production de l'usine de Lovelock, approvisionnée par la mine de Colado, est, en 2021, de 151 000 t et les réserves prouvées et probables sont de 4,05 millions de t. La capacité de l'usine Vale, approvisionnée par la mine Celaton, est de 120 000 t/an avec, une production, en 2020, de 95 000 t et des réserves de 40 millions de t. La production de Clark, en 2020, est de 62 000 t avec des réserves prouvées et probables de 3,4 millions de t et celle de Fernley de 42 000 t avec des réserves prouvées et probables de 6 millions de t.
- Dicalite, aux États-Unis, à Basalt, au Nevada et Burney, en Californie.
- Showa Minerals (Japon), dans les préfectures d'Akita, Okayama, dans l'île de Honshu et Oita, dans l'île de Kyushu, au Japon et dans la province de Jilin, en Chine, avec l'exploitation du gisement de Changbaishan.
- Calgon Carbon (Chemviron pour les activités européennes) qui a acquis, en novembre 2016, les activités, en France, dans le charbon actif et les agents de filtration, dont la diatomite, de CECA, filiale du groupe Arkema. Calgon Carbon a été acquis, en mars 2018, par la société japonaise Kuraray.

Situation française : exploitation de carrières par Chemviron, à Saint Bauzile (07) et Auxillac-Foufouilloux, près de Murat (15), ce dernier gisement étant également exploité par Imerys. Chemviron traite la diatomite d'Auxillac-Foufouilloux à Riom-ès-Montagnes (15) avec une capacité de production de 27 000 t/an alors que celle extraite par Imerys, avec 60 000 t/an, est traitée à Murat (15).

Les exportations, en 2022, étaient de 26 853 t avec comme principaux marchés à :

- 15 % l'Espagne,
- 8 % la Finlande,
- 8 % la Belgique,
- 8 % l'Allemagne,
- 8 % l'Italie.

Les importations, en 2022, s'élevaient à 14 845 t en provenance principalement à :

- 55 % du Danemark,
- 23 % d'Espagne,
- 5 % d'Allemagne.

Utilisations :

Consommation : en 2021, la consommation des États-Unis a été de 770 000 t.

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

Filtration	50 %	Charge minérale	15 %
Ciment	30 %	Absorbant	5 %

Source : USGS

En 2021, aux États-Unis, la filtration représente 55 % des utilisations.

La diatomite, parmi les agents de filtration courants (perlite, cellulose, charbon) des industries alimentaires est considérée comme le meilleur. Elle permet d'éliminer les particules en suspension de taille inférieure à 0,1 µm. Utilisée pour filtrer les jus d'extraction des sucreries, la bière, le vin, l'eau, les huiles... Dans les exploitations viticoles, la diatomite a remplacé les filtres en amiante. Elle permet l'élimination des bactéries et virus de l'eau de consommation.

L'utilisation dans le ciment Portland ne nécessite pas de calcination préalable, ce qui réduit les coûts de production, l'énergie comptant pour 25 à 30 % du prix de revient de la diatomite.

La diatomite est également utilisées comme charge minérale (par exemple dans des peintures), isolant thermique, abrasif doux (polish pour carrosseries, savons, dentifrices), support en chromatographie, support de catalyseur, dans le fractionnement du plasma sanguin humain...

La diatomite a permis à Nobel, en 1868, de stabiliser la nitroglycérine et de fabriquer ainsi la "dynamite".

Sables

Ce sont des alluvions utilisés comme charge pour l'élaboration des bétons et du macadam. Ils sont utilisés également comme lits de filtration des eaux et effluents.

Aux États-Unis, en 2021, la production a été de 1 milliard de t destinées à 46 % à la production de bétons, 21 % aux travaux routiers, 13 % aux remblayages, 12 % à la production de bitume.

Situation française : pour les sables et graviers d'alluvions.

Production, en 2019 : 562 entreprises ont produit 127 millions de tonnes.

Exportations de sable naturel, en 2021 : 2,083 millions de t, vers l'Allemagne à 69 %, la Suisse à 23 %.

Importations de sable naturel, en 2021 : 1,417 million de t, de Belgique à 51 %, des Pays Bas à 22 %, d'Allemagne à 12 %.

Silices pour l'industrie

Les alluvions utilisés sont plus purs que les sables utilisés comme charge des bétons. Les domaines d'utilisation dépendront de la nature et de la teneur des impuretés. Par exemple, la coloration d'un verre dépend de la teneur du sable utilisé comme matière première, en oxydes métalliques et surtout en Fe_2O_3. Par exemple, une silice pour verre optique doit avoir la composition suivante : SiO_2 = 99,8 %, Al_2O_3 = 0,1 %, Fe_2O_3 < 0,02 %. Une granulométrie homogène est également un critère important.

On distingue :

- les sables siliceux de haute pureté,
- les galets de quartz,
- les galets de silex,
- les grès et quarzites en roches massives,
- le quartz ultra-pur en filon.

[fc-chart id="production-silice-industrie"]

en milliers de t

États-Unis	97 000	France	12 000
Chine	88 000	Turquie	11 000
Pays Bas	54 000	Allemagne	11 000
Italie	14 000	Bulgarie	8 600
Inde	12 000	Russie	7 300

Source : USGS

La production de l'Union européenne, en 2017, est de 111 millions de t.

En 2021, les États-Unis sont le premier pays exportateur avec 5,6 millions de tonnes. Les exportations sont principalement, à 85 %, destinées au Canada.

Producteurs : le n°1 mondial est le groupe belge Sibelco, avec 118 sites de production, tous produits de carrières confondus, dans 31 pays.

Principales sociétés en Amérique du Nord :

- Covia, détenue à 65 % par le groupe Sibelco, qui est issue de la fusion, en juin 2018, de Unimin Corp. avec Fairmount Santrol, possède des carrières aux États-Unis, Canada et Mexique, avec une production, en 2019, de 27,7 millions de t/an de minéraux, dans 36 exploitations minières avec des réserves prouvées et probables de 880 millions de t.
- U.S. Silica Co., exploite, aux États-Unis, 16 carrières avec des réserves prouvées et probables de 442 millions de t. En 2020, les ventes ont été de 9,9 millions de t.
- Preferred Sands, avec des capacités de production de 6 millions de t/an aux États-Unis avec des carrières à Genoa, dans le Nebraska et dans l'ouest du Texas.

Recyclage : la silice utilisée en fonderie est en grande partie recyclée, ainsi que celle contenue dans le verre lors de son recyclage.

Situation française : en 2017, production de 8,8 millions de t.

Source : MI-france

En 2013, il y a 68 carrières en activité.

Les principaux gisements français sont constitués de sables siliceux de haute pureté et présents pour 75 % de la production française dans le Bassin parisien.

- Le gisement de Beauchamp est situé dans l'Oise et le sud de l'Aisne. Il s'est formé au Bartonien, il y a 40 millions d'années. Les réserves sont de 100 millions de t sur une épaisseur comprise entre 15 et 40 m. Il est exploité par Samin à Baron (60), Villeneuve-sur-Verberie (60) et Bois-de-Billy (02), Fulchiron à Saint-Rémy Blanzy (02) et Sibelco à Montgru Saint-Hilaire (02) et Crépy-en-Valois (60).
- Le gisement de Fontainebleau s'est formé à l'oligocène, il y a 34 millions d'années. Il s'étend sur 350 km^2 avec des réserves de 80 millions de t sur 20 à 55 m d'épaisseur. Sa teneur en Fe_2O_3 est inférieure à 150 ppm. Il est exploité par Samin à La Chapelle-la-Reine (77) et Buthiers (77), Fulchiron à Maisse (91) et Milly-la-Forêt (91), Sibelco à Bourron-Marlotte (77) et Hanches (28).
- 15 % de la production de sables siliceux provient du Bassin aquitain. Les gisements se sont formés au Miocène. Ils sont exploités par Samin à Marcheprime (33) et par Sibelco à Mios (33), Belin-Béliot (33), Barp (33) et Durance (47).
- D'autres sables sont exploités dans la Drôme, le Vaucluse, les Alpes Maritimes, la plaine d'Alsace.

Des gisements de grès quartzitique et de quartzite sont exploités à Meillers (03) pour la production de silicium et à Vallabrix (30) pour la production de ferrosilicium.

Des gisements de galets de quartz destinés à l'électrométallurgie pour la production de silicium et de ferrosilicium sont exploités par Imerys, en Dordogne à Saint Jean de Côte avec 100 000 t/an et

Saint Paul la Roche avec 40 000 t/an ainsi que dans le Lot à Thédirac avec 400 000 t/an destinées à 30 % à l'électrométallurgie.

Des galets de silex sont principalement exploités en baie de Somme, à Cayeux-sur-Mer (80), par GSM, filiale du groupe cimentier Heidelberg, avec 240 000 t/an, Sibelco, avec 30 000 t/an, Silmer avec 60 000 t/an. Les galets sphériques sont réservés à une utilisation dans des broyeurs à boulets pour l'industrie céramique. Une autre partie de la production de galets, constitués de calcédoine, est chauffée à 1600°C pour donner de la cristobalite ou à plus basse température, 900°C, comme charge minérale.

Un gisement de quartz ultra-pur en filon, est exploité par Quartz et Minéraux, à la Chapelle-Agnon (63) avec 25 000 t/an destinées à l'industrie céramique.

Principaux producteurs :

- Sibelco exploite 11 carrières de silice, à Compiègne (60), Crépy-en-Valois (60), Montgru-Saint-Hilaire (02), Bourron-Marlotte (77), Nemours (77), Hostun (26), Bédoin (84), Entraigues-sur-Sorgues (84), Durance (47), Saint-Césaire (17), Mios (33) ainsi que des galets, à Cayeux-sur-Mer (80).
- Samin, filiale de Saint Gobain, exploite des carrières de silice à Moru (Pont-Sainte-Maxence, 60), Rozet Saint Albin (02), Roncevaux (Buthiers, 77) et Marcheprime (33).
- Quartz d'Alsace, à Bischwiller (67).
- Imerys exploite des carrières de quartz destiné à l'industrie céramique et à celle des ferroalliages, à Saint Jean de Côte (24) et Thédirac (46).
- Sablière Palvadeau, à Saint Christophe du Ligneron (85).
- Silmer, exploite des galets de silex donnant après chauffage à 1600°C de la cristobalite, à Cayeux-sur-Mer (80), avec 20 000 t/an.
- L'Entreprise Charier, exploite diverses carrières et extrait du sable de mer au large de l'île de Noirmoutier et de Saint Marc.
- La société Fulchiron exploite des carrières à Maisse (91), Milly la Forêt (91), Saint Rémy Blanzy (02), Vallabrix (30) et Le Thieulin (28).

Utilisations :

Consommation, aux États-Unis, en 2021 : 67 millions de t.

Secteurs d'utilisation, aux États-Unis : en 2020.

Fracturation hydraulique et bétonnage des puits d'extraction d'hydrocarbures	58 %	Charge minérale	3 %
Industrie verrière	12 %	Produits de construction	3 %
Fonderie	4 %	Sables de loisirs	3 %

Source : USGS

Fracturation hydraulique : ces dernières années, aux États-Unis, le développement spectaculaire de la production de gaz et pétrole de schiste a entraîné une forte consommation de silice dans ce secteur. Les grains de silice permettent de maintenir la perméabilité de la roche fracturée.

Industrie verrière : le verre contient de 60 à 75 % de silice, voir le chapitre verre. En France, la silice provenant de l'Oise, qui contient seulement de 90 à 170 ppm de Fe_2O_3, est particulièrement appréciée.

La silice fondue ou verre de silice est utilisée pour ses propriétés réfractaires (appareillages, tubes, ampoules de lampe aux halogènes) ou pour sa transparence aux rayonnements UV, par exemple pour la confection de cuves pour spectromètres UV. Ces cuves, en verre de silice, donc amorphe, sont improprement appelées en "quartz", forme cristallisée de la silice.

Fonderie : pour la fabrication de moules et noyaux. Plus le sable est fin, meilleur sera l'état de surface de la pièce métallique obtenue après coulée. Le sable utilisé doit être exempt de calcaire (provenant par exemple de fossiles) afin d'éviter, à chaud, un dégagement de dioxyde de carbone.

Matière première pour la fabrication du silicate de sodium et de la silice synthétique.

Matière première pour la fabrication du carbure de silicium, des ferrosilicium et du silicium.

Matière première pour la fabrication de céramiques, d'abrasifs, d'émaux…

Charge de peintures, colles, mortiers, plastiques, caoutchoucs, cosmétiques…

Amendements agricoles.

Décapage des métaux, des pierres…

Toxicité de la silice cristallisée

Cette toxicité ne concerne que la silice cristallisée sous forme de quartz, cristobalite ou trydimite. Toutefois, la diatomite, dans laquelle la silice est sous forme amorphe, peut, après calcination, renfermer des quantités importantes de cristobalite.

La voie de pénétration est la voie respiratoire, les particules les plus fines (< 4,5 µm) pouvant atteindre les alvéoles pulmonaires et s'y déposer en induisant une irritation des voies respiratoires et une fibrose pulmonaire irréversible appelée silicose. La forme actuelle la plus courante est la silicose chronique se traduisant par une dyspnée d'effort, toux, expectation, diminution de la fonction pulmonaire. Elle intervient généralement après plus de 20 ans d'exposition et son évolution se poursuit même après la cessation de l'exposition. Les sujets atteints souffrent d'une altération majeure des fonctions pulmonaires et d'une obstruction sévère des voies aériennes pouvant conduire au décès.

Par ailleurs, en France, les silices cristallisées sont classées cancérogènes pour l'homme, elles donnent des cancers bronco-pulmonaires. L'association de l'exposition à la silice avec plusieurs pathologies est également confirmée et en particulier pour la tuberculose, les atteintes respiratoires obstructives et certaines pathologies auto-immunes (sclérodermie, polyarthrite rhumatoïde).

Les valeurs limites d'exposition professionnelles sur 8 heures/jour sont de 0,1 $mg.m^{-3}$ pour le quartz et de 0,05 $mg.m^{-3}$ pour les autres formes cristallines. L'ANSES recommande de diminuer ces valeurs.

En France, en 2017, 365 000 personnes sont exposées à la silice cristallines dont de 23 000 à 30 000 à des teneurs supérieures à 0,1 $mg.m^{-3}$, le secteur le plus exposé étant la construction.