

Fiches détaillées

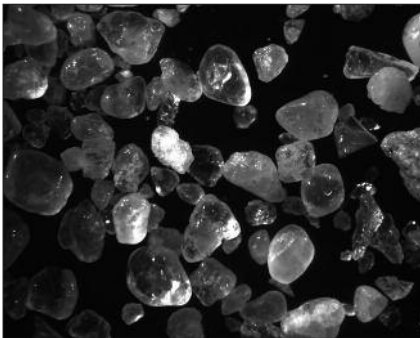
La silice industrielle* ¹

Christine Bonnet
Minéraux Industriels France

Malgré une composition chimique simple, SiO_2 , la silice se rencontre sous plusieurs formes, généralement cristallines, dont les plus connues sont le quartz, la cristobalite et la tridymite ; mais on observe aussi des formes amorphes comme la calcédoine, constituant principal des silex, et l'opale, sa variante hydratée.

* Les diatomites considérées comme une autre source de silice industrielle font l'objet d'une fiche technique distincte.

Cristaux de quartz
[Source Ecole des Mines d'Alès]



Sables quartzeux
[Source Sibelco France]

La silice dans tous ses états

Dans la nature, le dioxyde de silicium se présente sous trois expressions minéralogiques principales, chacune ayant une forme cristalline de haute température, dite Bêta, dont la symétrie se réduit en donnant une phase Alpha de basse température : le quartz, la cristobalite et la tridymite (figure 1). Des formes de haute pression, comme la coésite et la stishovite, sont plus rares et limitées aux impacts de météorite ou aux éclogites, roches métamorphiques ayant été soumises à de très hautes pressions et températures en liaison avec les grandes ceintures orogéniques.

L'expression minéralogique la plus répandue est le quartz qui présente les caractéristiques physiques suivantes :

- une bonne réfractarité marquée par une résistance pyroscopique équivalente à 1 500 °C au minimum et une température de fusion de 1 600 °C ;
- une forte inertie chimique vis-à-vis de la plupart des acides à l'exclusion de l'acide fluorhydrique ;
- un pH neutre ;
- un pouvoir isolant élevé ;
- un coefficient de dilatation thermique très faible ;
- le quartz est également piézo-électrique, c'est-à-dire que, soumis à une contrainte, il présente des charges électriques sur ses faces cristallines.

De la ressource aux gisements

Les formations siliceuses pouvant constituer une ressource se rencontrent :

- dans des gîtes primaires sous forme de filons où la silice a été mise en place à partir de solutions hydrothermales. Pour présenter un intérêt en tant que ressource en silice, ces filons doivent être "stériles", c'est-à-dire ne présenter aucune minéralisation polymétallique, ni de contamination d'origine superficielle ;
- dans des gîtes d'altération, il s'agit pour l'essentiel : de gisements de kaolins provenant de l'altération in situ de granites, le quartz étant dans ce cas un sous-produit du traitement du kaolin; mais aussi de quartz d'origine métamorphique, souvent de haute pureté, provenant de l'altération et du démantèlement des schistes qui les contiennent ;
- dans des gîtes détritiques où la richesse en quartz des roches est le résultat d'une accumulation à l'issue de processus naturels comme l'altération, la remobilisation et le transport y compris éoliens au cours desquels s'opèrent un véritable tri et une concentration de la phase quartzreuse. Les roches qui en résultent, peuvent être meubles comme les sables et galets ou consolidées comme les quartzites. Dans ce dernier cas la roche a subi une cimentation ou une recristallisation. Des sables siliceux de grande pureté peuvent aussi être obtenus à partir de traitements destinés à extraire de ces horizons détritiques d'autres minéraux comme le feldspath.

En France, 80 % des volumes de sables extraits ont une origine détritique et proviennent de dépôts marins épicontinentaux localisés en région parisienne, Eure-et-Loir, Vaucluse et Charentes.

Les dépôts fluviatiles rencontrés en Aquitaine, Alsace et dans la Drôme représentent moins de 20 %, le reste venant de gisements d'altération liés aux granites.

Dans le domaine des roches massives, quartzites et galets de quartz sont les plus importants en volumes exploités (40 % environ) devant les galets de silex et le quartz.

Quelques exemples de gisements français

Les sables dits "de Beauchamp" (-40 à -37 Ma) du nord de la région parisienne: ils s'étendent au sud de l'Oise et de l'Aisne, entre Senlis et Reims. Le dépôt sableux s'est effectué au fond d'une mer peu profonde balayée par les vagues: les sables sont blancs, parfois jaunâtres et ils peuvent comporter des niveaux humifères et être localement indurés sur un mètre de puissance, voire plus.

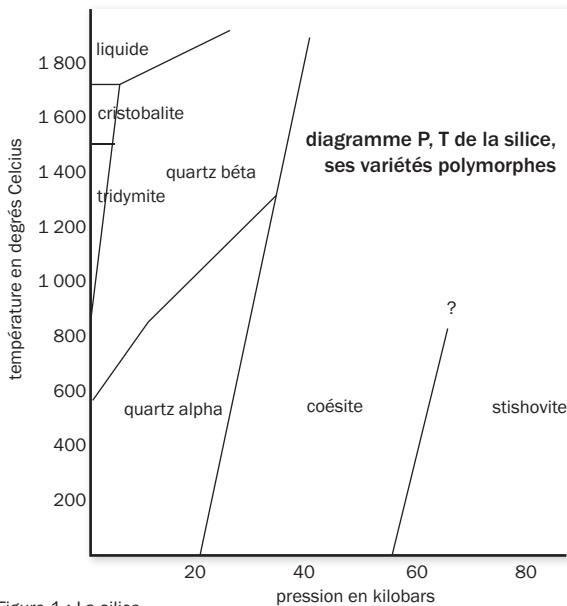


Figure 1 : La silice dans tous ces états [infographie Sim d'après document Claire Koenig]

Les sables de Fontainebleau (-35 à -30 Ma) en région parisienne s'étendent au sud du département de la Seine-et-Marne, de part et d'autre de la vallée du Loing, dans l'Essonne et en partie dans l'Eure-et-Loir. Ils se sont déposés dans un environnement marin de faible profondeur. Des remaniements éoliens subis par ces sables, après leur mise en place, sous climat semi-désertique expliquent leur extrême pureté. Des grès quartzites peuvent avoir une puissance totale de 6 mètres sous forme de bancs métriques à pluri-métriques (max. 3 m). Ils ont pour origine une consolidation supergène, donc tardive, des sables sous-jacents.

Les galets de quartz du Périgord (-25 Ma) sont des dépôts fluviatiles tertiaires qui correspondent à des remplissages de paléo-vallées entaillées dans un substratum calcaire souvent karstifié. Le long de la vallée de la Côte, ces formations forment une bande de près de 5-6 km de long et 1 km de large. Les alluvions sont meubles et constituées de galets de quartz pouvant atteindre 20 cm emballés dans une matrice argilo-sableuse brune.

Les galets de silex de Cayeux-sur-Mer constituent une ressource unique en Europe: ils proviennent du démantèlement des falaises du Pays de Caux. Remobilisés par la mer, ils sont roulés et transportés vers le nord pour former des accumulations sous forme de cordons littoraux dans la Baie de Somme.

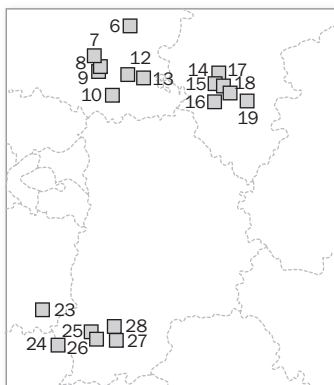
Exploitation et procédés de traitement

Compte tenu du caractère le plus souvent meuble des gisements valorisés, les exploitations sont réalisées à ciel ouvert à l'aide de pelles hydrauliques ou d'engins de dragage lorsque le gisement se trouve sous aquifère. Le sable est ensuite acheminé à partir d'un ou plusieurs centres d'extraction jusqu'aux unités de traitement.

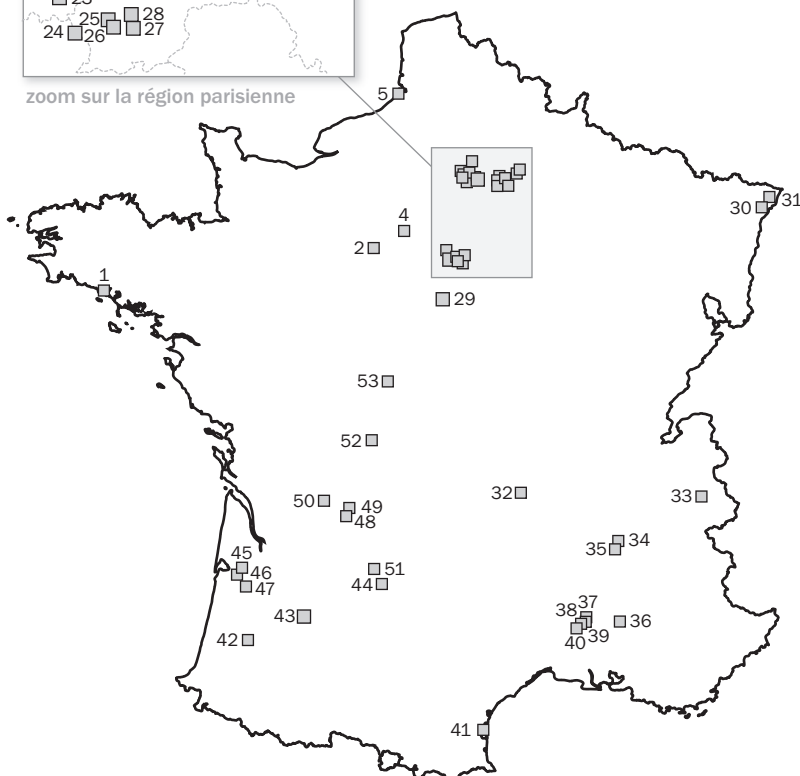
Les traitements mis en œuvre sont à la mesure des exigences des utilisateurs qui recherchent des produits siliceux à haut degré de pureté et des caractéristiques régulières. Leur nature dépend dans une large mesure du type de gisement. Les techniques employées ont pour but de calibrer les produits, d'assurer leur propreté voire d'extraire certaines impuretés. Les principales étapes comprennent :

- le criblage, pour éliminer les blocs et impuretés de taille supérieure à 10 mm, puis les grains de taille > 500 µm ;
- l'attrition, pour séparer par friction les incrustations ferrifères et les enveloppes argileuses des grains de quartz ;

Figure 2 : Les gisements de quartz et silice français [infographie Sim d'après document BRGM]



zoom sur la région parisienne



Ressources exploitées

Sables résiduels

1. Ploemeur
8. Villeneuve-sur-Verberie
9. Brasseuse
10. Baron
12. Trumilly
13. Crépy-en-Valois
14. Saint-Rémy-Blanzy
15. Rozet-Saint-Albin
16. Latilly
18. La-Croix-sur-Ourcq
19. Brecy
23. Maisse
24. Buthiers
25. La Chapelle La Reine
26. Larchant
27. Saint-Pierre-Les-Nemours
28. Bourron-Marlotte
29. Saint-Aignan-des-Gues
30. Hatten-Hagenau
31. Kaltenhouse
36. Bedoin
37. Bagnols-sur-Cèze
38. Tresques
39. Vallabrix
40. Saint-Victoire-des-Oules
42. Meilhan
43. Durance
45. Marcheprime
46. Mios
47. Belin-Beliet
50. Combiers

Filon de quartz

52. Magnac-Laval

Galets fluviatiles

44. Saint-Denis-Catus
48. Saint-Front-d'Alemps
49. Saint-Jean-de-Cole
51. Thédillac

Galets de mer

5. Cayeux-sur-Mer

Quartzite

32. Meillers
33. Saint-Marcel

Sables de plage

41. Leucate

Sables kaoliniques

34. Hostun
35. Beauregard

Sables siliceux

2. Le Thieulin
4. Hanches

Silice pulvérulente

53. Buzançais

Usine

6. Compiègne
7. Pontpoint
17. Montgru-Saint-Hilaire

- le lavage et la classification granulométrique pour séparer la fraction argileuse et les éléments fins par voie humide ;
- l'essorage et le séchage, pour réduire l'humidité des produits finis,
- le refroidissement, pour ramener la température des produits séchés autour de 25 °C environ.

A ce stade des traitements plus spécifiques peuvent être appliqués comme :

- le broyage, pour la production de farines de silice ;
- la calcination à haute température (1 600 °C) des galets de silex pour obtenir de la cristobalite très blanche ;
- le malaxage pour homogénéiser le produit ;
- la flottation, pour extraire des impuretés comme des oxydes de fer et des silicates denses ;
- la séparation magnétique haute intensité en voie sèche pour extraire certains minéraux contenant du fer ;
- la séparation par spirales pour séparer les silicates denses ;
- le tri manuel des galets, pour éliminer des éléments lithologiques non quartzeux et augmenter, de la sorte, la qualité du produit ;
- le tri optique sur des fractions calibrées pour augmenter leur degré de pureté.

Des applications industrielles diversifiées

Dans l'industrie verrière, les sables siliceux rentrent pour 60-70 % dans la composition du verre, le reste correspondant aux stabilisants, aux fondants et aux colorants. Ce chiffre global masque de grandes différences selon le type de verre. Ainsi, le verre à bouteille courant (verre vert) se fabrique avec environ 95 % de calcin (verre recyclé) et 5% seulement de matières premières. La coloration du verre étant très dépendante de la teneur en oxydes métalliques (en particulier Fe_2O_3), une très grande pureté du sable et une grande constance des caractéristiques des matériaux livrés sont exigées avec une granulométrie 0-800 μm .

Un certain nombre d'industries de haute technologie ont notamment un besoin stratégique de cette silice très pure pour produire des verres spéciaux comme les verres à cristaux liquides et les verres électro-chromes, de même que les panneaux à plasma ou les aérogels de silice. Les fibres de verre sont fabriquées à partir de poudres finement broyées.

Dans la fonderie pour réaliser des pièces moulées par coulage de métal en fusion, les sables extra-siliceux de fonderie requièrent un pourcentage de fines inférieur à 2 %, une composition chimique correcte ($\text{SiO}_2 > 98 \%$ et $\text{CaCO}_3 < 1 \%$) et une répartition granulométrique adéquate (distribution symétrique comprise entre 100 et 600 μm).

Dans l'industrie métallurgique, le silicium métal, le ferro-silicium et le carbure de silicium sont élaborés par procédés électrométallurgique à partir de matériaux siliceux à haute pureté en silice, comme les galets de quartz.

Dans ce domaine, les spécifications industrielles concernent la composition chimique, le comportement thermique et la granulométrie variable d'une unité de production à l'autre mais toujours supérieure à 15 mm.

Dans le secteur de la chimie de spécialités, le sable de cristobalite et le quartz de pureté élevée sont utilisés pour l'élaboration :

- de méta-silicates (fabrication de détergents en substitution aux phosphates) ;
- de silices précipitées (charges minérales, abrasifs, agent stabilisant) ;
- de silicates (adhésifs et agent agglomérant).

Exploitation de sables et galets du Lot [Source Imerys]



Dans la filtration, le sable de silice préparé avec un fuseau granulométrique resserré est utilisé comme agent filtrant dans le traitement des eaux.

Dans l'industrie céramique, la vaisselle, les sanitaires, les objets décoratifs, les carrelages, les céramiques à haute technologie incorporent à des degrés variés de la poudre de silice finement broyée.

Dans l'industrie du béton, l'utilisation des sables fins pour l'élaboration du béton cellulaire nécessite un pourcentage de fines inférieur à 3 %. Ils entrent dans la fabrication de bétons haute performance et de bétons de résine. En outre, leur emploi en tant que correcteur de sable à béton implique une courbe granulométrique inscrite dans un fuseau type.



Exploitation de sables de Crépy-en-Valois en Picardie [Source Sibelco France]

Dans le bâtiment, la silice est présente dans certains produits techniques comme les colles pour carrelage, les enduits, les mortiers et les charges pour les peintures, mais aussi sous forme de sables colorés dans des produits plus classiques comme les pierres reconstituées.

Dans le domaine des sports et loisirs, les installations de traitement produisent des sables calibrés avec des caractéristiques de porosité parfaitement maîtrisées qui autorisent le développement de nouveaux débouchés comme la réalisation de gazon de plaquage ou de sols sportifs. Le sable de silice est aussi utilisé pour les terrains d'équitation.

En agriculture, la silice est utilisée dans les cultures maraîchères, l'horticulture et la sylviculture pour l'amendement des sols ou comme agent anti-mottant dans la fabrication des engrais. Elle intervient aussi comme additif dans l'alimentation animale.

Quelques données économiques mondiales et nationales

La production mondiale de sables siliceux se situait en 2006 aux environs de 124 Mt. L'Europe arrive largement en tête avec 47 % du total devant les Etats-Unis, 23 %.

Les échanges commerciaux sont surtout réalisés, pour les plus gros volumes, à l'intérieur des principales zones économiques: Amérique du Nord, Pacifique ou Europe. Les flux commerciaux interzones ne concernent que des matières premières dont les coûts unitaires justifient des coûts de transport élevés.

L'Union Européenne importe des sables extra-siliceux d'Egypte, du Maroc et de la Tunisie mais les autres échanges restent massivement intra-communautaires et représentent plus de 90 % du total.

Le groupe belge spécialisé Sibelco, avec une capacité de production supérieure à 10 Mt domine largement la production mondiale.

En 2008, la production nationale s'est répartie comme suit:

- 5,5 Mt pour les sables industriels ;
- 300 kt pour le quartz et les quartzites ;
- 65 kt pour les galets de mer.

Une part importante de cette production est assurée par trois opérateurs qui dépassent chacun 500 kt : Sibelco France, Samin et Fulchiron Industrielle.

L'industrie de la silice industrielle est donc fortement concentrée puisque ces trois producteurs assurent à eux seuls près de 90 % de la production française.

La France est exportatrice en net avec un solde en 2008 de 202 kt. Les tonnages importés (590 kt) proviennent majoritairement de Belgique (324 kt), tandis que les exportations sont destinées à l'Italie (236 kt), l'Allemagne (206 kt) et la Suisse (218 kt).

Références bibliographiques

La silice à usage industriel (2008), Mémento roches et minéraux industriels, 80p, Editions BRGM.

Les sables industriels dans la grande région Ile de France (2004), revue Géologues n°142, pp 24-27, UFG.

Panorama régional des minéraux et matériaux industriels en Ile de France (2007): IAURIF DRIRE, MIF, SFIC, SNIP, FFBT.

Schéma départemental des carrières de Seine et Marne – Parties "ressources" et "besoins"- rédaction DRIRE, BRGM, et MIF.

La Silice, (2005), Fiche IMA-Europe, 2p.

Quartz, Silice ; Minéralogie, gemmologie, Industrie (1979) ; Ouvrage collectif, 144p, Edition de l'Association Régionale de Paléontologie-Préhistoire et des Amis du Muséum de Lyon.