



FICHE SUBSTANCE

Silicium métal

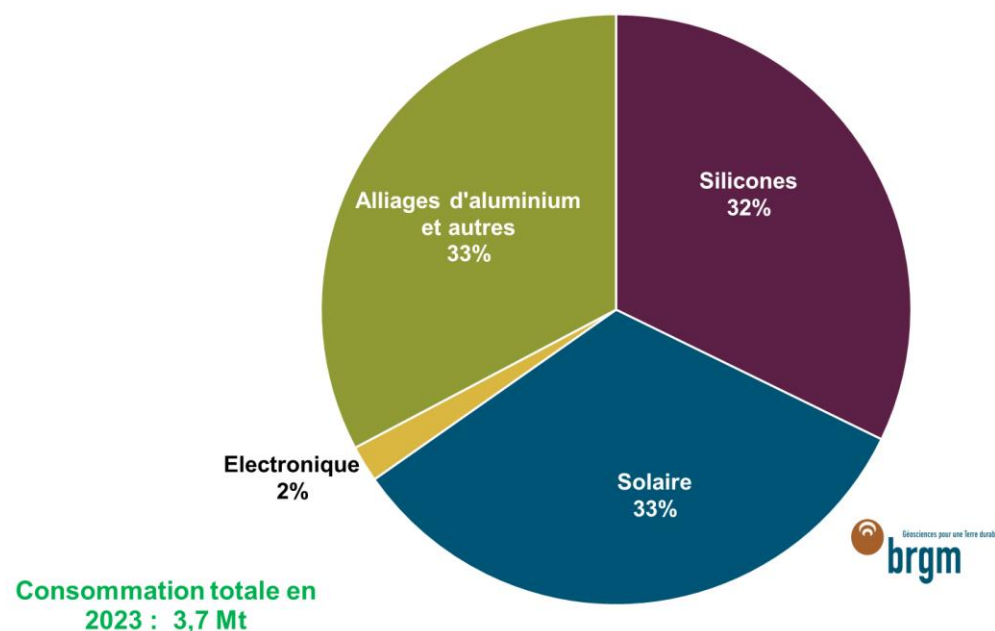
Juillet 2024

14
Si
28,09

■ Les principaux usages du silicium métal dans le monde : ¹

Usages mondiaux de silicium métal en 2023

Sources des données : CRU, 2023, BRGM



- **Solaire et électronique – 35%** : Le silicium de haute pureté (7N et plus) est nécessaire dans la fabrication de panneaux solaires, et dans de moindres proportions dans l'électronique. Le silicium reste néanmoins indispensable en électronique de par ses propriétés physico-chimiques, notamment son comportement de semi-conducteur ;
- **Alliages d'aluminium et autres – 33%** : L'intégration de silicium dans des alliages d'aluminium permet d'en augmenter la résistance, notamment utilisés dans l'automobile. Il peut également être utilisé dans la production d'acier en moindre mesure ;
- **Silicones – 32 %** : Le silicium peut être utilisé dans des processus chimiques pour réaliser différents types de silicones, utilisés en tant que mastics, dans la cosmétique ou encore des gaines isolantes de câbles électriques.

¹ CRU, 2023



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ Perspectives d'évolution de la consommation globale : ¹ forte hausse

- La croissance de la demande de panneaux solaires va porter la demande en silicium métal pour les prochaines années. En effet, ce secteur est appelé à porter une forte croissance de la demande ;
- La demande de silicones est également appelée à croître sur les prochaines années, témoignant d'une reprise de cette demande après la chute liée au Covid 19 ;
- La croissance de la demande de silicium métal pour les alliages dans les années à venir est plus faible ;
- Des batteries Li-ion intégrant du Si sont également en cours de développement, pouvant offrir une capacité supérieure aux batteries actuelles. Si cette technologie vient à être commercialisée à grande échelle, la demande en Si augmenterait, au vu de la croissance du marché des batteries, notamment pour les véhicules électriques. Aussi, il faut noter que le marché du ferrosilicium a, quant à lui, une tendance à décroître depuis 2014. Ceci est dû, en partie, aux teneurs plus faibles dans les aciers. Enfin, bien que la demande d'aciers au Si augmente, la consommation de silicium pour cet usage est en baisse.

¹ CRU, 2023



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ La substance est-elle est un sous-produit ? **Non**

- Le silicium métal est obtenu par carboréduction de la silice de haute pureté (quartzite, galets de quartz, grès, silex). Le sable naturel n'est pas utilisé pour produire du silicium métal pour des raisons techniques (circulation des gaz SiO et CO dans le four à arc électrique).

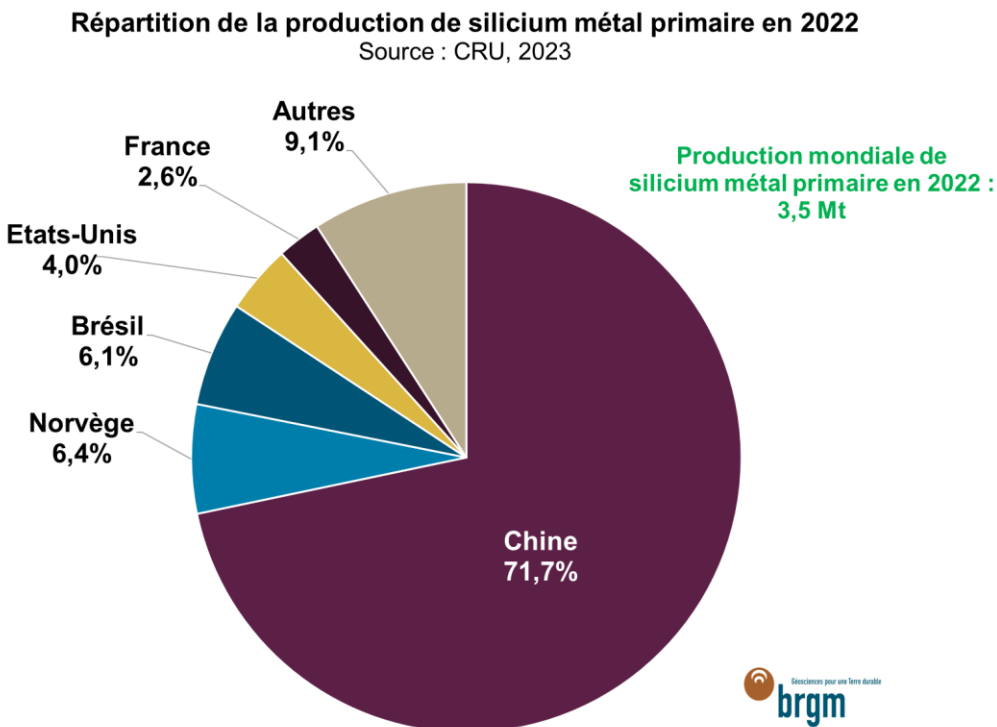
■ Production minière* mondiale en 2022 : ¹

- Production : **4,5 Mt Si contenu** (sur la base d'une consommation de 2,8 tonnes de quartz par tonne de silicium métal et 46% de Si dans le quartz) ;
- Répartition : la production de silicium métal étant souvent réalisée non loin des carrières de quartz, se référer aux pays producteurs de Si métal. Des importations sont toutefois possibles.

■ Production mondiale de silicium métal en 2022 : ¹

- Production primaire : **3,5 Mt Si** ;
- Pays producteurs : Chine (71,7%), Norvège (6,4%), Brésil (6,1%) ;
- Concentration très élevée du marché : **IHH* = 0,53**.

* Indice Herfindahl-Hirschmann



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



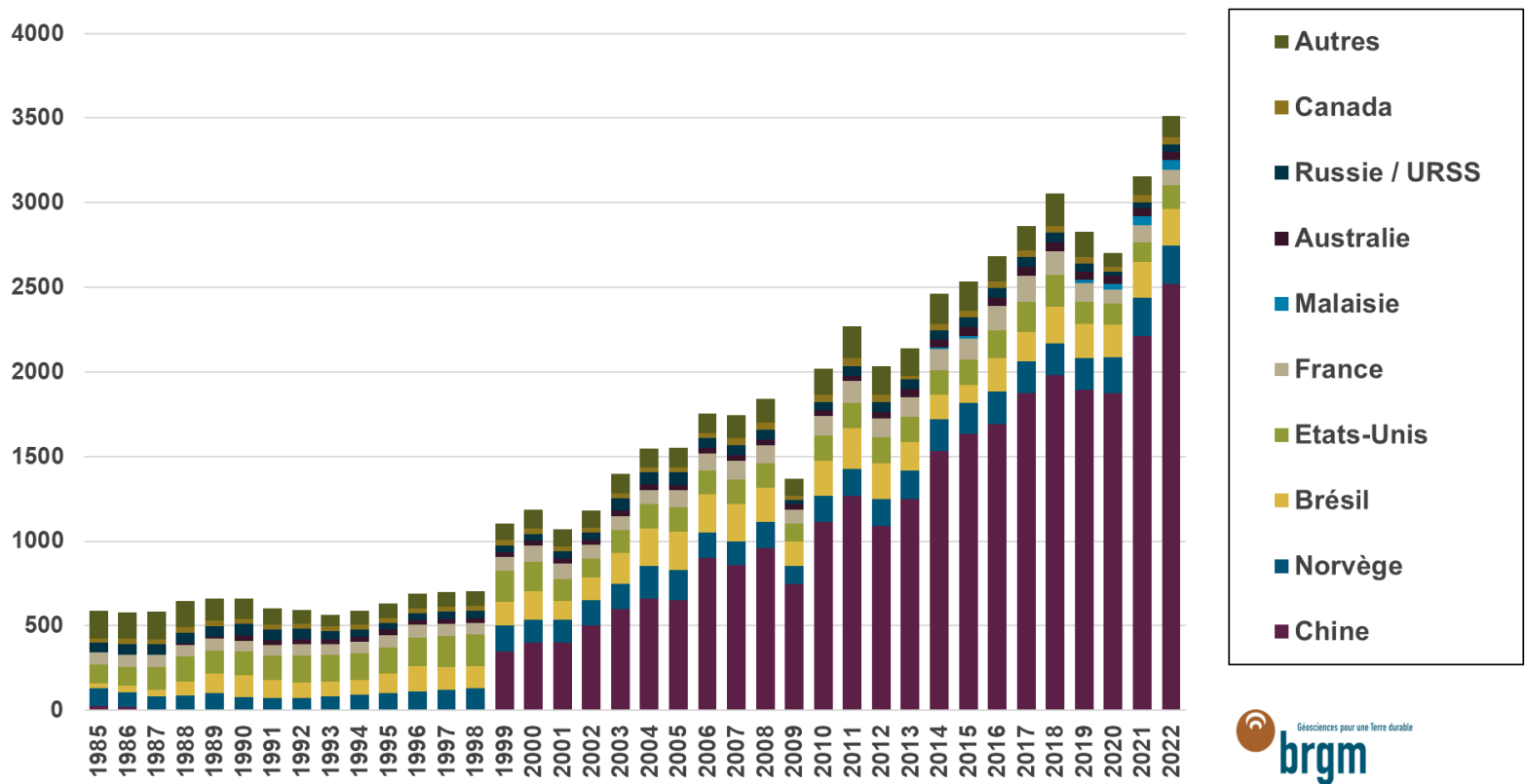
* La plupart du quartz est extrait en carrières

¹ CRU, 2023

■ Variation sur 10 ans de la concentration de la production mondiale : ¹

- En dix ans (2012-2022), **la part de la Chine dans la production mondiale de silicium métal a continué d'augmenter**, passant de 54 % en 2012 à 72 % en 2022. Bien que très inférieure à celle de la Chine, la production norvégienne a également augmenté en 10 ans, passant de 160 kt en 2012 à 225 kt en 2022. Le reste de la production est assurée par de nombreux pays, bien répartis à l'échelle du globe.

Evolution de la production mondiale de silicium métal en kt
Sources : BGS, 1985-2006 ; CRU, 2007-2022



* Taux de Croissance Annuel Moyen
¹ CRU, 2023

Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement

■ Réserves connues et évolution :

- **Non estimées précisément mais très importantes.** La ressource en quartz (SiO_2) est très importante (le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre – 28% de sa masse – après l'oxygène – 49%), cependant, pour des raisons technico-économiques, le silicium métal n'est à ce jour produit qu'à partir de quartz de très haute pureté (> 98% SiO_2). De plus, le granulats de quartz doit avoir une taille minimum pour le bon fonctionnement du processus industriel, rendant impossible l'usage de sable de plage par exemple. Les ressources, bien que non connues, peuvent toutefois être estimées à plusieurs centaines d'années.

■ Répartition géographique des réserves : ^{2,3}

- Non connues précisément mais supposées bien réparties ;
- Les principaux freins au développement de la production de silicium métal sont la forte dépendance à un apport intensif et continu en électricité (7,5-18 kWh/kg Si qualité métallurgique, jusqu'à plus de 100 kWh/kg pour le Si monocristallin), le coût des matières premières, ainsi que les impacts environnementaux liés à la consommation des combustibles fossiles (charbon, houille, coke).



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



minéralinfo

² Fan et al., 2020

³ Schubert et al., 2020

■ Substitutions possibles avec conservation ou perte de performance : ⁴ non satisfaisantes

- Le silicium métal **n'est pas substituable** en tant que substance dans la plupart de ses usages. En revanche, il peut exister des alternatives techniques dans les alliages, la chimie, et les applications solaires et électroniques (cellules à couches minces CdTe et COGS / CIGS, wafer au germanium, etc.), à un coût souvent supérieur, mais nécessitant tout de même la présence de silicium ;
- A noter que certains substituts tels que le cadmium peuvent présenter une toxicité significative qu'il est nécessaire de neutraliser ;
- Le quartz synthétique peut également être utilisé comme substitut notamment en électronique, bien que son coût reste pour l'instant plus élevé que le quartz naturel.



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



minéralinfo

⁴ USGS, 2024

■ Production secondaire : ⁵

- Le silicium métal n'est **habituellement pas recyclé** dans les produits en fin de vie car les processus ne sont actuellement pas viables économiquement en raison du bas prix du silicium métal ;
- Il existe un recyclage en boucle courte en Chine où les découpes de lingots sont de plus en plus réutilisées ;



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



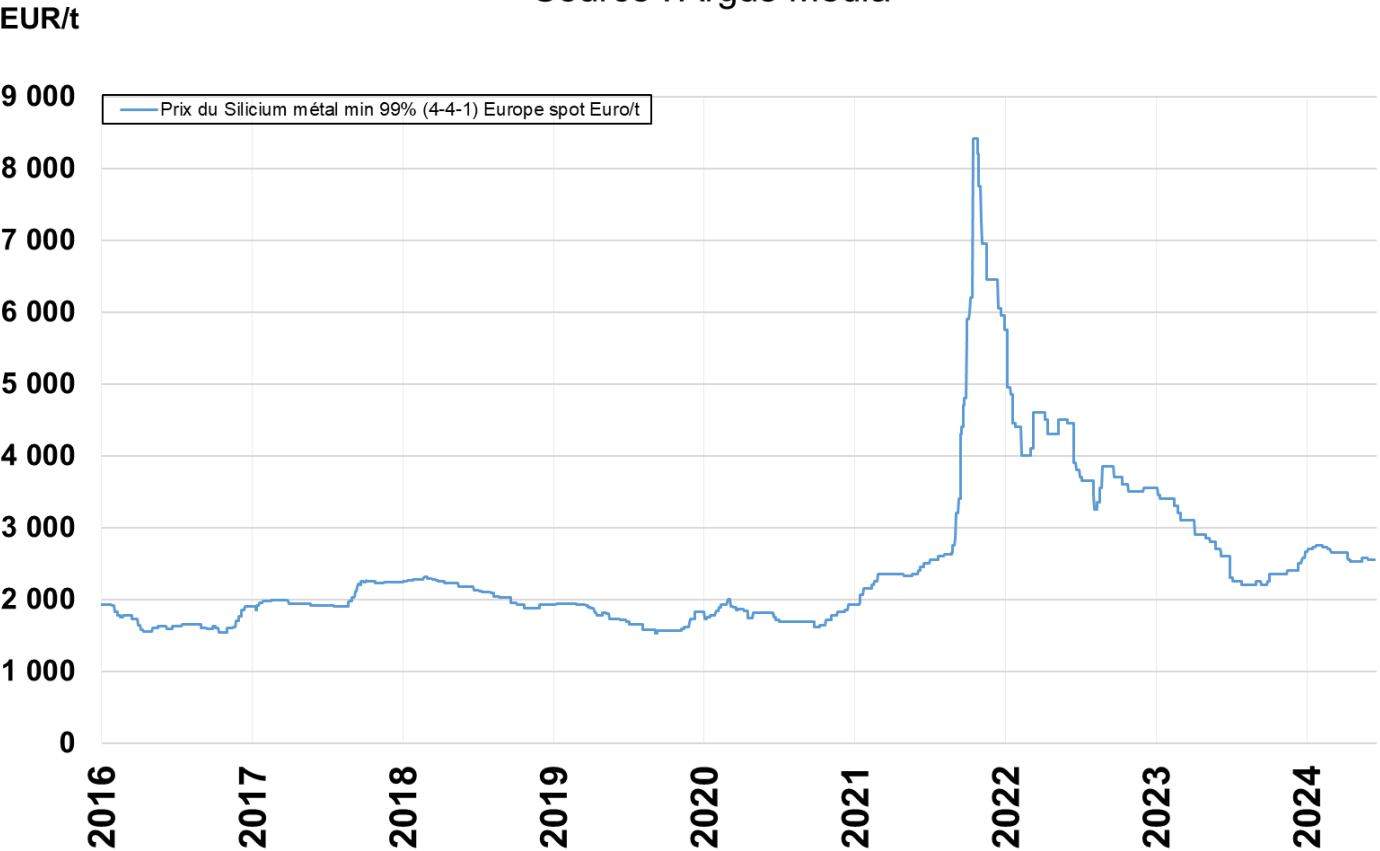
⁵ Mineralinfo.fr

■ **Établissements des prix :**

- Le prix du silicium est établi entre producteurs et consommateurs, en direct ou par l'intermédiaire de traders. Argus Media publie les prix du silicium métal vendu sur les bourses chinoises, européennes et états-uniennes.

■ **Évolution des prix :** ^{6,7}

Évolution des prix du silicium métal 99% min (4-4-1) Si ddp* (UE) depuis 2016
Source : Argus Media



*Delivered Duty Paid
⁶ Argus-media
⁷ Fastmarkets

14

Si

Silicium

Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ **Restrictions au commerce international :** ^{4, 8,9}

- Le silicium métal ne présente pas de restrictions à l'importation ou à l'exportation en Europe. Certains produits d'alliages calcium-silicium sont toutefois sujets à des mesures anti-dumping depuis 2022 ;
- Le Canada applique depuis 2019 des mesures anti-dumping sur tous les produits de silicium dont la pureté excède 96%, et est calculée au prorata du volume et de la qualité de la marchandise, ciblant principalement les produits chinois ;
- Les Etats-Unis appliquent un droit de douane de 5,3 % ad valorem sur le silicium à 99,99 % et moins de pureté, et 5,5% pour la pureté comprise entre 90 et 99%. La substance demeure sous surveillance de l'US International Trade Commission quant à l'application de mesures anti-dumping au titre du Tariff act de 1930 (art 751(c)).

■ **Réglementation REACH :** ¹⁰

- Le silicium métal n'est pas classé comme substance dangereuse par l'ECHA (Agence européenne des produits chimiques).

⁴ USGS, 2024

⁸ TARIC, 2024

⁹ CBSA, 2024

¹⁰ ECHA, 2024



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ Production minière : ¹¹

- Les carrières alimentant la filière du silicium métal sont opérées par **Imerys** (24, 46), **Sibelco** (80), **CERF** (filiale de Colas, 03) et **Quartz et minéraux** (29).

■ Production métallurgique : ¹¹

- **FerroPem**, filiale du groupe **Ferroglobe**, fabrique du silicium métal pour alliages dans son site des Clavaux (38).
- La tension sur les matières premières à court terme est limitée, d'une part car les capacités de production de FeSi sont aisément converties en Si métal, d'autre part car les capacités de production sont bien supérieures à la demande 2022.

■ Ressources minières : ¹¹

- Les ressources géologiques existent en France mais les réserves exploitables sont plus limitées, étant donné les contraintes environnementales et l'occupation des sols. Il est à noter que le processus industriel permettant l'obtention de silicium métal requiert une taille minimale des granulats, excluant ainsi de nombreuses carrières pour cet usage.



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



¹¹ Marteau P. avec la collaboration de Chassagnac D., Hom L., Jallon S., Lefebvre G. (2016) – Mémento Silice industrielle. Rapport final. Rapport BRGM/RP-66167-FR, 66 p. 29 fig., 5 tabl.

■ **Filière métallurgique française :** 12, 13, 14

- Eramet
- Trimet
- Aluminium Dunkerque

■ **Silicones :** 15

- Elkem

■ **Électronique :** 16,17

- Soitec
- STMicroelectronics

■ **Modules solaires :** 18, 19

- Photowatt
- Voltec

■ **Recyclage :**

- Soren

¹² Eramet, 2024

¹³ Trimet, 2024

¹⁴ Aluminium Dunkerque, 2024

¹⁵ Elkem, 2024

¹⁶ Soitec, 2024

¹⁷ STMicroelectronics, 2024

¹⁸ Photowatt, 2024

¹⁹ Voltec, 2024



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

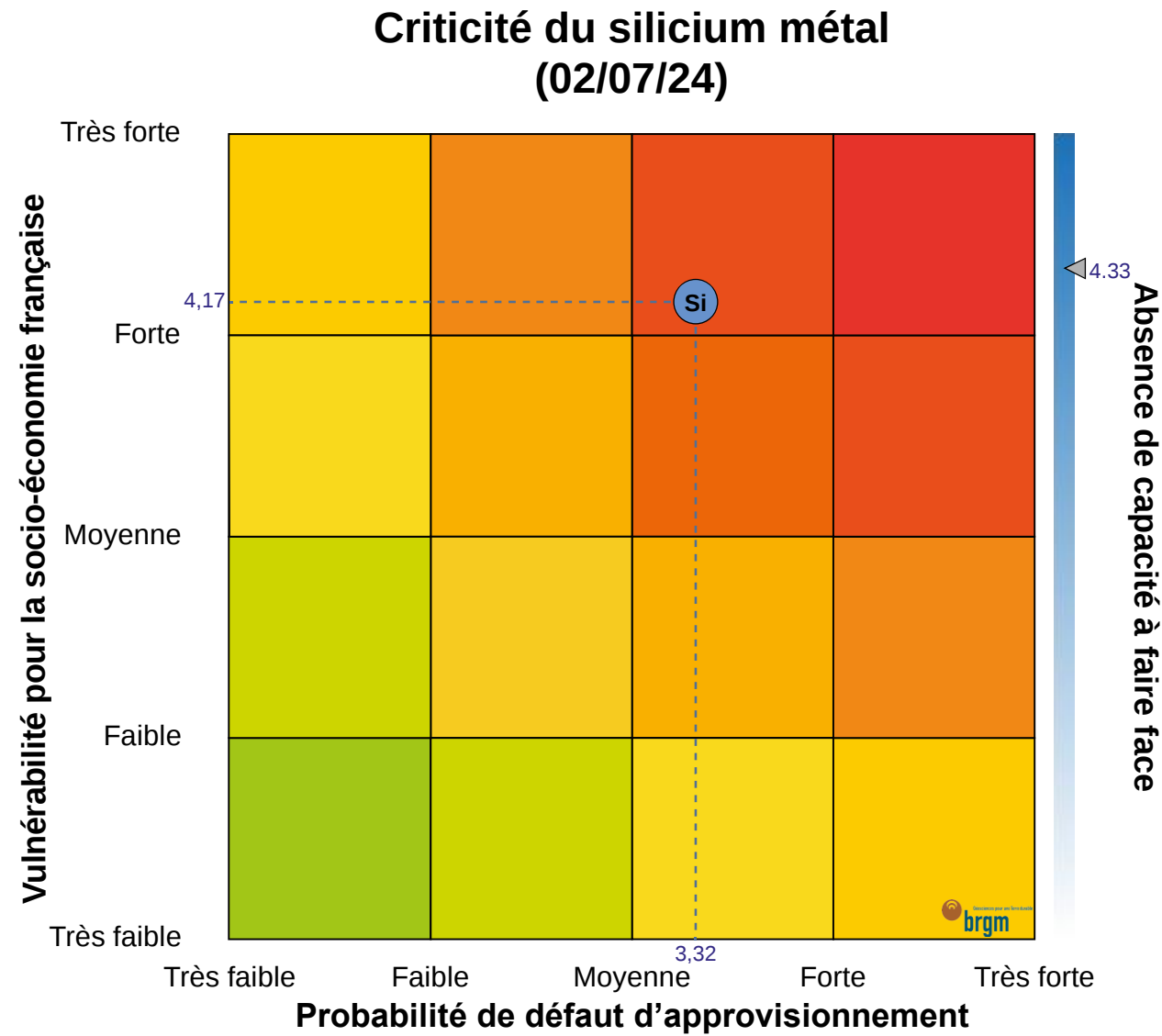
Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



Evaluation de la criticité du silicium :



14

Si

Silicium

Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



Sources :

- 1 – CRU, 2023
- 2 – Fan, M., Yu, Z., Ma, W., Li, L., 2021. Life Cycle Assessment of Crystalline Silicon Wafers for Photovoltaic Power Generation. Silicon 13, 3177–3189. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00670-4>
- 3 – Schubert, M.C., Schindler, F., Benick, J., Riepe, S., Krenckel, P., Richter, A., Müller, R., Hammann, B., Nold, S., 2021. The potential of cast silicon. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 219, 110789. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110789>
- 4 – USGS, 2024, <https://www.usgs.gov/>
- 5 – Mineralinfo, 2024, <https://www.mineralinfo.fr/fr/ecomine/silicium-un-element-chimique-tres-abondant-un-affinage-strategique>
- 6 – Argus Media, <https://www.argusmedia.com/>
- 7 – Fastmarkets, <https://www.fastmarkets.com/>
- 8 – TARIC, 2024, https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/taric/taric_consultation.jsp
- 9 – CBSA, 2024, <https://www.cbsa-asfc.gc.ca/sima-lmsi/mif-mev/sm-eng.html>
- 10 – ECHA, 2024, <https://echa.europa.eu/fr/substances-restricted-under-reach>
- 11 – Marteau P. avec la collaboration de Chassagnac D., Hom L., Jallon S., Lefebvre G. (2016) – Mémento Silice industrielle. Rapport final. Rapport BRGM/RP-66167-FR, 66 p. 29 fig., 5 tabl.
- 12 – Eramet, <https://www.eramet.com/>
- 13 – Trimet, <https://www.trimet.eu/fr>
- 14 – Aluminium Dunkerque, <https://www.aluminiumdunkerque.fr/>
- 15 – Elkem, <https://www.elkem.com/>
- 16 – Soitec, <https://www.soitec.com/fr>
- 17 – STMicroelectronics, https://www.st.com/content/st_com/en.html
- 18 – Photowatt, <https://www.photowatt.com/fr/>
- 19 – Voltec, <https://www.voltec-solar.com/>
- 20 – Ragonnaud G., 2023. Critical raw materials act. EPRS | European Parliamentary Research Service



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



Fiche réalisée par :

T. Arnaud, E. Pujol, F. Lai et A. Reys

Pour toutes questions, remarques ou suggestions :

Contactez le BRGM, service géologique national :
<https://assistance.brgm.fr/formulaire/posez-votre-question?tools=MineralInfo>

■ Sources photos :

- (au centre) SuperProf, « Bloc de silicium métal » : <https://www.superprof.fr/ressources/physique-chimie/physique-chimie-tous-niveaux/silicium-cristallin.html>
- (en bas à droite) Adobe stock #509031274, « Carrière de quartz » : <https://stock.adobe.com/fr/images/quarry-for-the-extraction-of-quartz-sand-and-quartzite-shooting-from-a-drone/509031274>
- (en haut à droite) Adobe stock #324078546, « Panneau solaire » : <https://stock.adobe.com/fr/images/isolated-solar-panels-3d-illustration/324078546>
- (en bas à gauche) : Adobe stock #637347591, « Véhicule thermique » : https://stock.adobe.com/fr/images/white-suv-car-isolated-transparent-png-image/637347591?asset_id=637347591
- (en haut à gauche) Adobe stock #47721432, « Lingot de silicium » : <https://stock.adobe.com/fr/images/silicon-ingot/47721432>



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ Fiche réalisée par :

T. Arnaud, E. Pujol, F. Lai et A. Reys

■ Pour toutes questions, remarques ou suggestions :

Contactez le BRGM, service géologique national :
<https://assistance.brgm.fr/formulaire/posez-votre-question?tools=MineralInfo>

Les informations, chiffres et graphiques figurant dans la présente "fiche de criticité" sont extraites de bases de données construites à partir des meilleures sources ouvertes consultables et internationalement reconnues.

Certaines bases sont gratuites, d'autres ne sont accessibles que sur abonnement. Les sources utilisées sont précisées sur chaque fiche.

Toutefois, il est à considérer que de nombreux problèmes affectent la qualité des données disponibles sur l'industrie minérale mondiale. Cela peut parfois se répercuter sur les nombreux maillons des chaînes de valeur qui en découlent.

Certains pays, parmi lesquels la Chine aujourd'hui principal producteur mondial d'un certain nombre de matières premières minérales, ne publient guère de données statistiques relatives à leur industrie minérale. Les données publiées ne sont ainsi pas toujours vérifiables.

Dans certains pays, des règles interdisent la publication de données de production ou de réserves. Ces informations peuvent divulguer des données ou méthodologies considérées comme confidentielles par des entreprises productrices.

Cela est notamment le cas aux États-Unis et en France. Toutes les entreprises n'ont pas les mêmes obligations de communication de leurs activités. Ces obligations restent très faibles ou nulles pour les entreprises non cotées en bourse ou financées par des capitaux privés ("private equity"). Tous les États n'imposent pas non plus les mêmes obligations de transparence aux entreprises établies sur leurs territoires.

Certaines données de production, de consommation ou d'échanges proviennent des statistiques du commerce mondial. Elles sont basées sur la nomenclature statistique internationale des produits, définie par l'Organisation Mondiale des Douanes, ainsi que sur les déclarations d'importations et d'exportations fournies par les douanes de chaque pays. Ces dernières sont centralisées dans la base de données "Comtrade" des Nations Unies.

Ces données sont délicates à utiliser ou à interpréter : certains chiffres relatifs aux exportations et aux importations mondiales ne se correspondent pas. Certains pays ne fournissent pas leurs informations. Les données relatives ne permettent pas de ressortir d'indications sur la consommation intérieure de minéraux et métaux produits à l'intérieur d'un même pays.

Cette situation complique les analyses pour certaines matières premières, notamment pour les métaux utilisés aux applications de haute technologie. La fiabilité de certaines données sont difficilement vérifiables lorsque celles-ci proviennent de simples déclarations par les autorités de pays producteurs. Les acteurs sont interrogés pour calculer le montant des réserves de telle ou telle matière première minérale.

L'existence d'un marché noir de certaines matières premières est également à prendre en compte. C'est probablement le cas d'une petite partie de la production chinoise, mais aussi des pays limitrophes, comme en Birmanie par exemple.

Il est néanmoins possible que ces limitations soient contournées, en recoupant plusieurs sources d'information.

De même, les prix des métaux rares et des minéraux industriels ont des degrés de précision et de fiabilité divers. Seuls les métaux de base (Al, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Co) et les métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) font l'objet de cotations quotidiennes sur les marchés boursiers. Les autres métaux font l'objet de nombreuses commercialisations dans le cadre de contrats de gré à gré entre producteurs et acheteurs, qui peuvent être des maisons de négoce.

Les prix de transaction ne sont pas rendus publics. Des sources d'informations spécialisées, accessibles uniquement sur abonnement, comme Argus Media, Fastmarkets ou Platts, fournissent des fourchettes de prix de transactions pour une vaste gamme de matières premières minérales. L'évolution de ces prix, qui peuvent ne représenter qu'une faible partie du marché réel, est la principale source d'information sur l'évolution de l'offre et de la demande.

Ainsi malgré tout le soin que le BRGM peut apporter à l'utilisation et traitement des données auxquelles il a accès, les chiffres doivent être le plus souvent considérés comme des ordres de grandeur. Il s'agit d'évolutions temporelles, de dynamiques qui traduisent au mieux les marchés et leurs évolutions. En cas d'enjeux économiques importants pour une entreprise, il est fortement recommandé de faire appel à une ou plusieurs expertises externes complémentaires.

En tout état de cause, le BRGM et l'OFREMI déclinent toute responsabilité relative aux dommages directs ou indirects, quelle qu'en soit la nature, que pourrait subir un utilisateur des fiches du fait de décisions prises au vu de leur contenu. L'utilisation des informations fournies est de l'entière responsabilité des utilisateurs.



Données

- 1 – Usages et consommation
- 2 – Production mondiale et ressources
- 3 – Substituabilité
- 4 – Recyclage
- 5 – Prix
- 6 – Restrictions au commerce international
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France

Criticité

Pour aller plus loin

Avertissement





Géosciences pour une Terre durable

brgm



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

minéralinfo

BRGM, Service géologique national

Siège social • Centre scientifique et technique

3 avenue Claude-Guillemin - BP 36009

45060 Orléans Cedex 02 – France

Tél. : +33 (0)2 38 64 34 34 - Fax : +33 (0)2 38 64 35 18

www.brgm.fr