

Fiche de criticité

-

Silicium métal

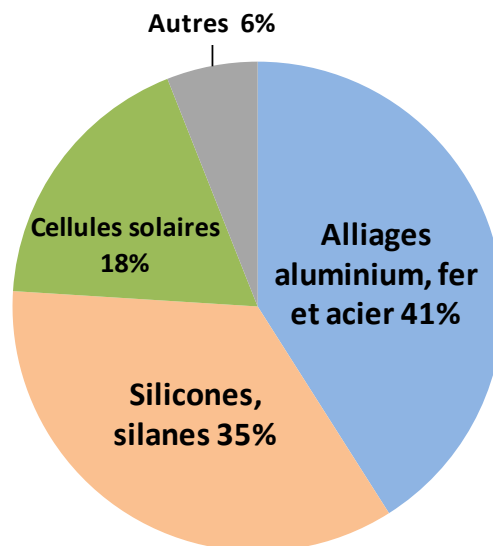


Version 1 – juillet 2019

■ Principaux usages du silicium métal dans le monde en 2018 :

Répartition des usages du silicium métal

Sources : Elkem, CRU



Consommation mondiale 2018 : 2,9 Mt



■ Perspectives d'évolution de la consommation globale :

- **Consommation croissante** due principalement aux secteurs des silicones, des cellules solaires, et des alliages d'aluminium. Croissance estimée à **4,5 %** par CRU sur les 5 prochaines années
- Des batteries Li-ion intégrant du Si font l'objet d'une recherche très active. Celles-ci offriraient notamment aux batteries Li-ion existantes une capacité supérieure

¹ Elkem 2019

² CRU 2019

14

Si

Silicium

Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



comes
Comité pour les métaux stratégiques

La substance est-elle 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 2018 (pour le silicium métal uniquement) :

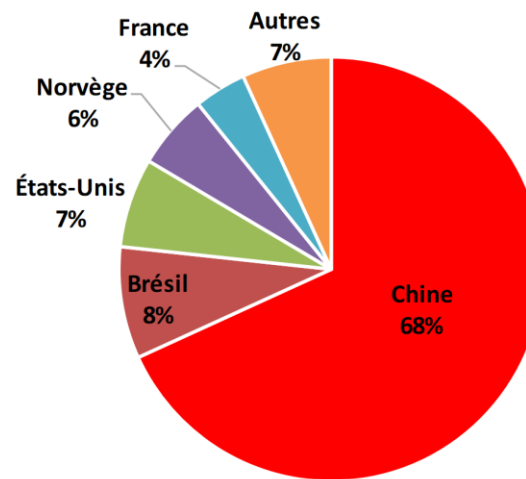
- Production : **3,8 Mt Si contenu** (sur la base d'une consommation de 2,8 tonnes de quartz par tonne de silicium métal et 46 % de Si dans le quartz)
- Répartition : **non connue précisément** : la production de silicium métal étant souvent réalisée non loin des carrières de quartz, se référer aux pays producteurs de Si métal

Production mondiale de silicium métal 2018 :

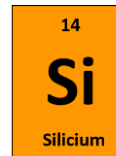
- Production primaire² : **3,0 Mt Si**
- IHH (indice de Herfindahl-Hirschman) = **0,48** concentration élevée (voir diagramme ci-contre)
- Variation sur 10 ans de l'IHH : **+ 9 %** (IHH de 0,44 en 2008)
- Production secondaire : **très faible**⁴

Répartition géographique de la production de silicium métal primaire

Source : CRU, Argus Media



Production mondiale estimée en 2018 : 3,0 Mt



Données

- Usages et consommation
- Production mondiale et ressources
- Substituabilité
- Recyclage
- Prix
- Restrictions au commerce international, réglementations
- Production française et ressources
- La filière industrielle en France
- Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



* Les matériaux siliceux relèvent du régime des carrières en France

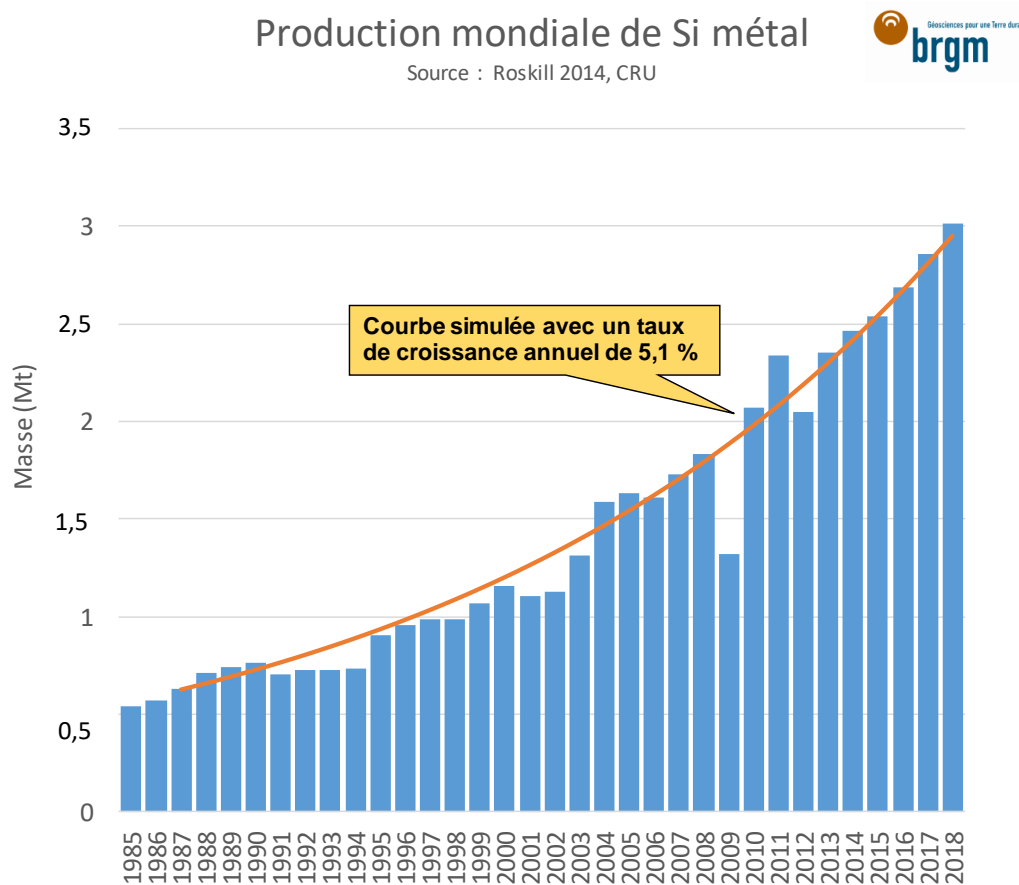
² CRU 2018

³ Argus Media 2019

⁴ Latunussa, Cynthia E.L., Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. 'Life Cycle Assessment of an Innovative Recycling Process for Crystalline Silicon Photovoltaic Panels'. Solar Energy Materials and Solar Cells 156 (November 2016): 101–11. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.020>.

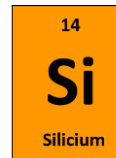
■ Taux de croissance annuel moyen (TCAM)^{2,4} :

- TCAM de la production métallurgique sur 30 ans (1987-2017) : **+ 5,1 %**
- TCAM de la production métallurgique sur 10 ans (2007-2017) : **+ 5,1 %**



² CRU 2018

⁵ Roskill 2014



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ Réserves connues et évolution:

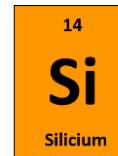
- **Non estimées précisément.** La ressource en quartz (SiO_2) est très importante*, cependant, pour des raisons technico-économiques, le silicium métal n'est à ce jour produit qu'à partir de quartz de très haute pureté (> 98% SiO_2)

■ Répartition géographique des réserves :

- **Non connue**

■ Perspectives d'évolution de la production :

- **Production croissante** due à la demande robuste des secteurs des silicones, de l'aluminium, et des semi-conducteurs (solaires et électroniques). D'autres usages pourraient se développer (batteries Li-on au Si). A noter que le marché du ferrosilicium a, lui, été décroissant depuis 2011 en raison d'une demande en baisse, due en partie aux teneurs plus faibles dans les aciers (bien que la demande d'aciers au Si augmente). 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'autres part car les capacités de production sont bien supérieures à la demande 2018
- Les principaux freins au développement de la production de silicium métal sont la forte dépendance à un apport intensif et continu en électricité (11-14 kWh/kg Si), le coût des matières premières, ainsi que les impacts environnementaux liés à la consommation de 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, réglementations
- 7 – Production française et ressources
- 8 – La filière industrielle en France
- 9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

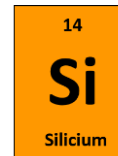
Avertissement



*Le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre (28 % de sa masse) après l'oxygène (49%)

■ Substitutions :

- 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 CIGS, wafer au germanium, etc.), à un coût souvent supérieur
- A noter que certains substituts tels que le cadmium peuvent présenter une toxicité significative qu'il est nécessaire de neutraliser



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

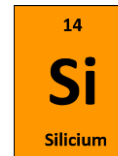
Pour aller plus loin

Avertissement



■ Taux de recyclage :

- Recyclage en fin de vie **quasi inexistant**^{4,5,6}, hormis le silicium contenu dans les alliages recyclés (non estimé)
- Le recyclage des panneaux solaires et composants électroniques pour le silicium est techniquement possible, mais peu attrayant en raison des faibles quantités présentes dans les produits, et de la difficulté à séparer le silicium des autres composants
- Certains résidus de production du Si métal peuvent être recyclés en boucle courte. Certains acteurs (e.g. RoSi Solar) étudient des solutions pour recycler le silicium extra pur (polysilicium) sous forme de résidus de découpe ou de boues



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



⁴ Latunussa, Cynthia E.L., Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. 'Life Cycle Assessment of an Innovative Recycling Process for Crystalline Silicon Photovoltaic Panels'. Solar Energy Materials and Solar Cells 156 (November 2016): 101–11. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.020>

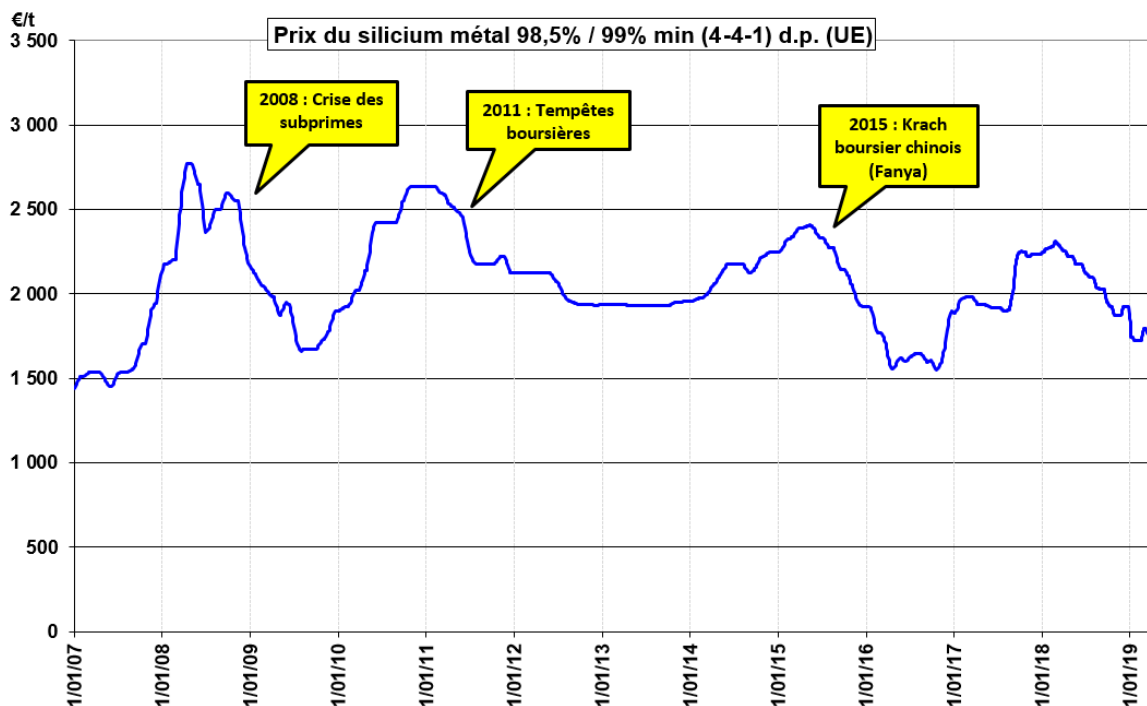
⁶ Critical Raw Materials Alliance, <https://criticalrawmaterials.org/silicon-metal/>

Établissements des prix :

- Le prix du quartz de haute pureté s'établit à **50-100 \$/t.**
- 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.

Variations des prix⁷ :

- Prix moyen 2018 (silicium métal 98,5%-99% min (4-4-1) d.p. (UE): **€ 2 107 / t**
- Évolution du prix moyen annuel sur 1 an (2017-2018) : **+ 2 %**
- Ordre de grandeur de la valeur du marché du silicium métal (prix moyen × production) : **6,3 G€**



⁷ Argus Media

Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement

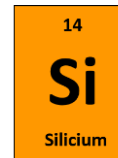


■ Restrictions au commerce international^{8,9} :

- **Europe : taxe anti-dumping à l'importation** depuis la Chine (16,3 % à 16,8 %) sur le silicium métal de pureté < 99,99%
- **Etats-Unis : taxe à l'importation** depuis la Chine (139 %) sur le silicium métal de pureté < 99,99%. La réglementation douanière est très dynamique dans ce pays. De fortes taxes (jusqu'à 135%) sur les imports du Brésil, de Norvège, d'Australie et du Kazakhstan ont par exemple été déclarées par l'administration Trump en mars 2018, puis retirées en avril 2018
- **Canada : taxe à l'importation** depuis la Chine (235 %) sur le silicium métal de pureté < 99,99%
- Il existe par ailleurs des taxes à l'importation depuis certains pays asiatiques sur les composants photovoltaïques au silicium cristallin. Aux Etats-Unis : taxes jusqu'à 30 % depuis la Chine. En Europe : taxes de 27 % à 65 % depuis la Chine, la Malaisie, et Taïwan
- D'autres taxes sur le silicium pourraient apparaître ou disparaître en cours d'année, suivant l'évolution des rapports de force commerciaux entre les pays producteurs et consommateurs, notamment Chine et Etats-Unis

■ Réglementation REACH¹⁰ :

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



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



⁸ Législation de l'Union européenne, <https://eur-lex.europa.eu/>

⁹ US Customs Border Protection, <https://aceservices.cbp.dhs.gov/adcvdweb/>

¹⁰ ECHA 2019

■ Production minière* française :

- Production minière 2018¹¹ : environ 230 kt de quartz, soit **106 kt Si contenu**, dédiée à la production française du silicium métal (estimée sur la base d'une consommation de 2,8 tonnes de quartz par tonne de silicium métal, de 55 % du quartz provenant de France, et d'un contenu en Si dans le quartz de 46 %)
- Part de la production minière mondiale 2018 : **environ 3 %** (selon l'estimation de la production mondiale)
- Production minière historique : **non évaluée**
- Ressources évaluées en France métropolitaine^{11,12,13} : sur la base de la production 2018, les carrières estiment des ressources correspondant à plusieurs dizaines d'années

■ Production métallurgique française :

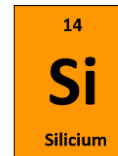
- Production métallurgique 2018¹¹ : **150 kt** de silicium métal
- Part de la production métallurgique mondiale 2018 : environ **5 %**

*Les matériaux siliceux relèvent du régime des carrières en France

¹¹ FerroPem, 2019

¹² S. Colin, Les différentes sources d'approvisionnement de la filière française du silicium métal : états des lieux et perspectives, BRGM/RP-66749-FR, 2017

¹³ P. Marteau, Mémento sur le silice industrielle, BRGM/RP-66167-FR, 2016



Données

1 – Usages et consommation

2 – Production mondiale et ressources

3 – Substituabilité

4 – Recyclage

5 – Prix

6 – Restrictions au commerce international, réglementations

7 – Production française et ressources

8 – La filière industrielle en France

9 – Commerce extérieur et consommation française

Matrice de criticité

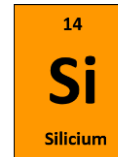
Pour aller plus loin

Avertissement



■ Entreprises françaises impliquées dans la chaîne de valeur du silicium métal :

- Mines et carrières^{12,13} : **Imerys**, **CM Quartz**, **Decremps**, **Fulchiron**, **Sibelco**
- Métallurgie : **FerroPem**, filiale française du groupe **Ferroglobe**
- Produits intermédiaires : Aucune industrie de raffinage du silicium métallurgique
- Industries aval dépendantes du silicium métal : **aluminium** (Trimet, Liberty House), **silicones** (Elkem), **modules solaires** (Photowatt, Voltec), **électronique** (Soitec, STmicroelectronics, Sil'Tronix)



Données

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

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



¹² S. Colin, Les différentes sources d’approvisionnement de la filière française du silicium métal : états des lieux et perspectives, BRGM/RP-66749-FR, 2017

¹³ P. Marteau, Mémento sur le silice industrielle, BRGM/RP-66167-FR, 2016

■ Commerce extérieur français^{11,14} :

- **125 kt** exportées par FerroPem en 2018

Statistiques françaises d'import-export de produits bruts et intermédiaires de silicium

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2017			2018			Evolution 2017-2018		Principaux partenaires en 2018 (% des masses)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Silicium, contenant en poids >= 99,99% de silicium (28046100)									
Exportations	883 k€	94 t	9,4 €/kg	439 k€	53 t	8,3 €/kg	-50,3%	-44%	Hong-Kong 58%, Ukraine 29%, Singapour 2%
Importations	1 948 k€	293 t	6,6 €/kg	3 198 k€	584 t	5,5 €/kg	64%	99%	Royaume-Uni 51%, Allemagne 35%, Pays-Bas 9%
Solde	-1 065 k€	-199 t		-2 759 k€	-531 t		159%	167%	
Silicium, contenant en poids < 99,99% de silicium (28046900)									
Exportations	C	C		C	C				Voir code 28990003 ci-dessous
Importations	49 681 k€	28 890 t	1,7 €/kg	51 550 k€	26 002 t	2,0 €/kg	4%	-10%	Norvège 58%, Pays-Bas 24%, Non-déterminés 5%
Solde									
Regroupement des produits confidentiels. Autres produits minéraux non métalliques n.c.a. (28990003), part silicium inconnue									
Exportations	63 279 k€	51 159 t	1,2 €/kg	70 037 k€	55 569 t	1,3 €/kg	10,7%	9%	Allemagne 23%, Espagne 13%, Italie 10%
Importations	0 k€	0 t	0,0 €/kg	0 k€	0 t	0,0 €/kg	0%	0%	
Solde	63 279 k€	51 159 t		70 037 k€	55 569 t		11%	9%	

C : Confidentiel. Les exportations du code 28046900 sont regroupées dans le code 28990003 de la nomenclature combinée

■ Consommation française apparente en 2018^{11,14}

- production + importations – exportations = **53 kt**

■ Recyclage en France :

- Gisement collectable : **non estimé**, mais grandissant avec les panneaux photovoltaïques et les semiconducteurs. PV Cycle est l'éco-organisme agréé pour collecter les panneaux solaires en fin de vie
- Gisement collecté : **très faible**. En 2018, Véolia a construit, en France, la première usine européenne de recyclage de panneaux solaires. Cependant, les techniques de recyclage du silicium sont toujours à l'étude

¹¹ FerroPem 2019

¹⁴ www.lekiosque.finances.gouv.fr

Données

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

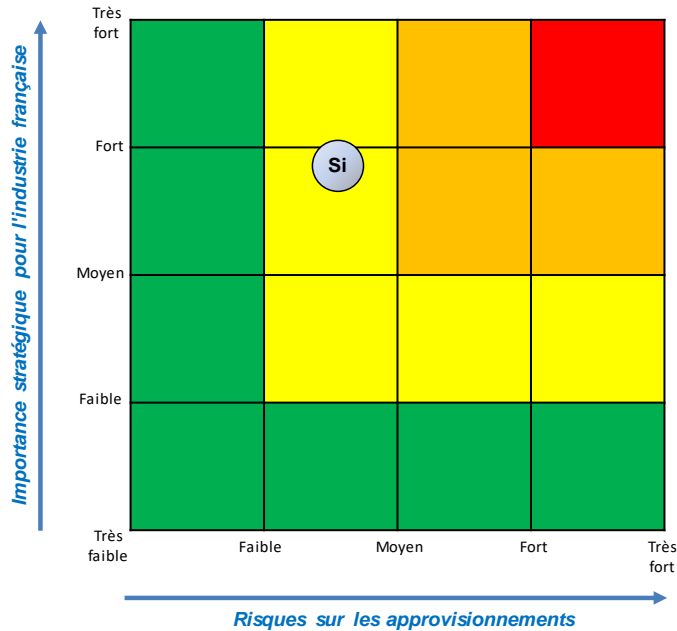
Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



Positionnement du silicium métal



Importance économique du silicium métal

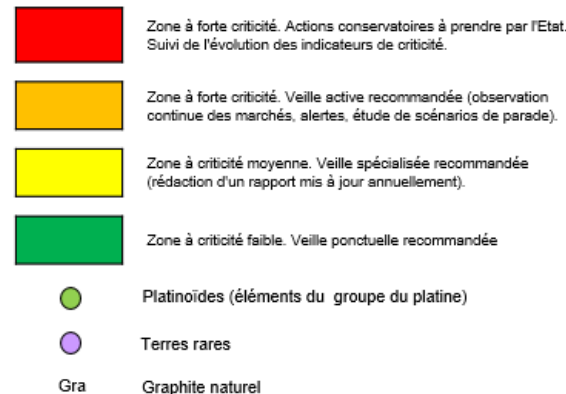
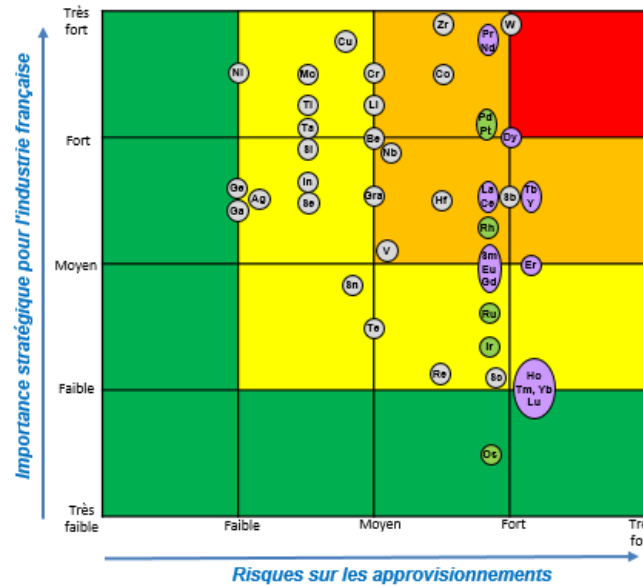
- Le silicium métal est indispensable pour plusieurs industries françaises (aluminium, silicones, électronique, etc.)

Risques sur les approvisionnements

- La France détient de bonnes ressources en quartz de haute pureté
- Le numéro 1 mondial du silicium métal, Groupe Ferroglobe, est l'unique producteur français via sa filiale FerroPem
- Le silicium métal de qualité solaire (Si-SoG) n'est, à ce jour, pas raffiné sur le territoire français

Matrice de criticité générale

ÉVALUATION DE LA CRITICITÉ DES SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES ÉTUDIÉS PAR LE BRGM
Positionnements actualisés à mi 2019 ("Fiches de criticité")



14

Si

Silicium

Données

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

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



■ Sources :

- 1 Elkem 2019
- 2 CRU 2018
- 3 Argus Media 2019
- 4 Latunussa, Cynthia E.L., Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. 'Life Cycle Assessment of an Innovative Recycling Process for Crystalline Silicon Photovoltaic Panels'. Solar Energy Materials and Solar Cells 156 (November 2016): 101–11
- 5 Roskill 2014
- 6 Critical Raw Materials Alliance, <https://criticalrawmaterials.org/silicon-metal/>
- 7 Argus Media
- 8 Législation de l'Union européenne, <https://eur-lex.europa.eu/>
- 9 US Customs Border Protection, <https://aceservices.cbp.dhs.gov/adcvdweb/>
- 10 ECHA 2019
- 11 FerroPem 2019
- 12 S. Colin, Les différentes sources d'approvisionnement de la filière française du silicium métal : états des lieux et perspectives, BRGM/RP-66749-FR, 2017
- 13 P. Marteau, Mémento sur le silice industrielle, BRGM/RP-66167-FR, 2016
- 14 Le kiosque de Bercy, www.lekiosque.finance.gouv.fr

■ En complément :

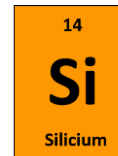
- L'élémentarium, Société Chimique de France : www.lelementarium.fr

■ Fiche réalisée par :

- Antoine Boubault, BRGM

■ Pour toutes questions :

- Contacter le BRGM, service géologique français, sur le portail mineralinfo : <http://www.mineralinfo.fr/contact>



Données

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

Matrice de criticité

Pour aller plus loin

Avertissement



Les informations, chiffres et graphiques figurant dans la présente "fiche de synthèse sur la criticité" sont extraites de bases données construites à partir des meilleures sources ouvertes de données, internationalement reconnues. Certaines sont gratuites, d'autres ne sont accessibles que sur abonnement. Les sources utilisées sont précisées sur chaque fiche.

Il faut cependant savoir que de nombreux problèmes affectent la qualité des données disponibles sur l'industrie minière mondiale et sur les nombreux maillons des chaînes de valeur qui en dépendent. Certains pays, parmi lesquels la Chine, aujourd'hui le principal producteur mondial d'un certain nombre de matières premières minérales, ne publient guère de données statistiques relatives à leur industrie minière, et les données qui sont publiées ne sont pas toujours vérifiables. Dans certains pays, des règles interdisent la publication de données de production ou de réserves lorsque cette publication pourrait divulguer des données considérées comme confidentielles par des entreprises productrices, dès lors que le nombre restreint de producteurs nationaux est restreint au point que la publication des données de production pourrait amener à dévoiler la stratégie industrielle de ces producteurs. C'est le cas par exemple aux États-Unis et en France. Toutes les entreprises n'ont pas non plus les mêmes obligations de rapportage de leurs activités, ces obligations étant très faibles ou nulles pour les entreprises non cotées en bourse, financées par des capitaux privés ("private equity"). Et tous les États n'imposent pas non plus les mêmes obligations de transparence aux entreprises établies sur leurs territoires.

Certaines données de production, consommation ou échanges proviennent des statistiques du commerce mondial, basées sur la nomenclature statistique internationale des produits définie par l'Organisation Mondiale des Douanes, et sur les déclarations d'importations et d'exportations fournies par les douanes de chaque pays, centralisées dans la base de données "Comtrade" des Nations Unies. Ces données sont cependant, elles aussi, 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. De plus, ces données ne fournissent pas 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 pour des applications de haute technologie. La fiabilité de certaines données peut être douteuse lorsque celles-ci proviennent de simples déclarations par les autorités de pays producteurs interrogés pour calculer le montant des réserves de telle ou telle matière première minière.

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 (Birmanie, etc.).

Ces limitations peuvent cependant être parfois 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 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'information spécialisées, accessibles uniquement sur abonnement, telles qu'Industrial Minerals (pour les minéraux industriels), Argus Media, Fast Market 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 au traitement des données et des informations auxquelles il a accès, les chiffres doivent le plus souvent être considérés comme des ordres de grandeur. Ce sont les évolutions temporelles, les dynamiques qui traduisent le 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.

En tout état de cause le BRGM et le COMES 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.