

Soufre 2023

Matières premières

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 600 ppm.

On distingue le soufre élémentaire, effectivement obtenu sous forme de soufre, du soufre présent dans le dioxyde de soufre coproduit lors du grillage de sulfures métalliques. Ce dernier est directement transformé en acide sulfurique sans passer par la formation de soufre. Le soufre, quelle que soit son origine, sert principalement à fabriquer de l'acide sulfurique. Le commerce international ne concerne que le soufre élémentaire.

Origines de la production mondiale, en 2017, sur un total de 83 millions de t :

- Soufre élémentaire (74 % de la production mondiale) :
 - obtenu par purification du [gaz naturel](#) (Canada, Russie...) et par désulfuration des [pétroles](#) bruts (États-Unis, Arabie Saoudite...) et des sables bitumineux (Canada) dans les raffineries pour 72 % de la production mondiale.
 - natif, minier, avec 5,3 millions de t ou selon le procédé Frasch avec 660 000 t en Pologne, en 2018, par le [Grupa Azoty](#) qui exploite la mine d'Osiek.
- Soufre contenu dans le [dioxyde de soufre](#) (transformé ensuite en [acide sulfurique](#)) formé lors du grillage de sulfures métalliques (26 % de la production mondiale) :
 - dans le traitement de minerais de [cuivre](#), [zinc](#), [plomb](#), [nickel](#), voir les chapitres correspondants, pour 18 % de la production mondiale.
 - dans l'extraction de pyrites (5,9 millions de t) : principalement en Chine (4,4 millions de t), Finlande (470 000 t), Russie (180 000 t), Turquie : cette production qui tend à diminuer couvre, en 2017, 10 % de la production de soufre, comparativement à 22 % en 1973. Aux États-Unis, le grillage des pyrites s'est terminé en 1988.
- Le complément est fourni par diverses sources dont la gazéification du [charbon](#) et le recyclage de l'[acide sulfurique](#) régénéré après traitement de purification.

Le volume de la production de soufre dépend donc principalement de celui de divers autres produits (pétrole, gaz naturel, sables bitumineux ou métaux). L'ajustement avec la demande est réalisé par le grillage de pyrites en Chine, par exemple, par l'extraction minière ou par les variations de stocks.

Extraction du soufre natif

Réalisée selon des techniques minières classiques ou selon le procédé Frasch.

Extraction par le procédé Frasch : la production peut atteindre jusqu'à 500 t par jour et par forage, en injectant dans le sol de la vapeur d'eau qui permet de faire fondre le soufre (température de fusion : 119°C) qui est ensuite pompé et remonté en surface sous forme liquide. Le procédé, mis au point par Herman Frasch, a été exploité industriellement, pour la première fois, en 1903, en Louisiane. La production nord-américaine a atteint, selon ce procédé, un maximum de 8 millions de t, en 1974, avec 12 mines en activité. La mine de Boling Dome, dans le Texas, fermée en 1993, a, en 65 ans, ainsi produit 82 millions de t de soufre. La dernière exploitation, Main Pass, extrayant le soufre à partir d'une plate-forme offshore dans le Golfe du Mexique, à 51 km des côtes, a fermé en 2000. L'Irak a exploité jusqu'en 2003, selon ce procédé, le plus grand dépôt de soufre connu, celui

de Mishraq, qui contiendrait de 100 à 250 millions de t. En Pologne, les mines à ciel ouvert ayant fermé, l'exploitation d'un gisement découvert en 1954, se poursuit, par le [Grupa Azoty](#), à l'aide d'une mine Frasch sur le site d'Osiek. C'est actuellement la seule mine Frasch en activité dans le monde.

Récupération du soufre des hydrocarbures

Le [gaz naturel](#) peut renfermer une teneur importante de soufre, principalement sous forme de [sulfure d'hydrogène](#). C'était le cas du [gaz de Lacq](#) dont la composition moyenne est la suivante : CH₄ : 69 %, H₂S : 7-15 %, CO₂ : 10 % ou du gaz canadien. Le sulfure d'hydrogène, toxique et corrosif, doit être éliminé du gaz avant sa commercialisation. La purification du gaz consiste à extraire le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de carbone à l'aide d'amines puis après déextraction à transformer le sulfure en soufre à l'aide du procédé Claus mis au point en 1883.

Le [pétrole](#) contient généralement du soufre sous forme de divers composés organiques (thiols, [thiophène](#), méthylthiophène, benzothiophène...). En 2017, 35 % de la production de pétrole brut à une teneur en soufre inférieure ou égale à 0,5 % (par exemple 0,21 % pour celui d'Ekofisk en Norvège), 52 % supérieure ou égale à 1 % (par exemple 1,35 % pour celui de l'Oural en Russie, 2,13 % pour celui de Dubaï). Les normes antipollution exigent pour les carburants des teneurs réduites en soufre. Par ailleurs, les traitements subis par le pétrole afin de transformer les fractions lourdes en fractions légères plus utilisées, nécessitent l'emploi de divers catalyseurs qui seraient empoisonnés par la présence de composés soufrés. En conséquence, le soufre est éliminé en transformant d'abord, par hydrogénation, le soufre des composés organiques soufrés en sulfure d'hydrogène qui est ensuite transformé en soufre à l'aide du procédé Claus. L'hydrodésulfuration utilise des catalyseurs cobalt-molybdène ou nickel-molybdène.

Traitement de désulfuration du gaz naturel

Première opération : séparation : H₂S – CO₂ / hydrocarbures.

Le gaz barbote, sous pression (75 bar) et à 35-50°C, à contre-courant dans une solution (à 30 % en masse) d'amines (diéthanolamine (DEA) : HN(C₂H₄-OH)₂ ou méthyl-diéthanolamine (MDEA)) qui fixe H₂S et CO₂.

Le sulfure d'hydrogène et le dioxyde de carbone sont ensuite libérés sous 1 bar à 140°C et les solutions d'amines (DEA ou MDEA) sont ainsi régénérées et recyclées.

Deuxième opération : procédé Claus

1^{ère} étape : consiste en une oxydation partielle (1/3) de H₂S, à 1100°C, selon la réaction :



2^{ème} étape : une oxydation catalytique, sur [Al₂O₃](#) ou [TiO₂](#), des 2/3 restant du sulfure d'hydrogène par le [dioxyde de soufre](#) formé lors de la première étape, est réalisée vers 300°C. La formation de soufre commence lors de la 1^{ère} étape mais son rendement est limité.



Le rendement est de 95 %, le soufre obtenu est très pur, à 99,95 %.

Le procédé Sulfreeen, en traitant les effluents, permet d'augmenter le rendement à 99 %. Le procédé est identique au procédé Claus mais la 2^{ème} étape est réalisée à température plus faible avec un catalyseur à base d'alumine.

Productions

Production de soufre

En 2023, en milliers de t sous toutes formes sur un total de 82 millions de t.

Chine	19 000	Kazakhstan	4 300
États-Unis	8 600	Inde	3 500
Arabie Saoudite	8 000	Japon	3 100
Russie	7 000	Corée du Sud	3 100
Émirats Arabes Unis	5 400	Qatar	2 100
Canada	4 900	Iran	1 600

Source : USGS

En 2016, la production mondiale de soufre élémentaire a été réalisée à 51,6 % par désulfuration du gaz naturel et à 43,4 % par désulfuration du pétrole.

- Aux États-Unis, en 2022, sur une production totale de 8,6 millions de t, la désulfuration du pétrole a fourni 7,5 millions de t, celle du gaz naturel, 503 000 t, la production de cuivre a co-produit, 568 000 t et celle de zinc, plomb et molybdène, 68 000 t. En 2022, La production est réalisée à 66 % au Texas, en Louisiane et en Californie.
- Au Canada, en 2015, sur une production totale de 6 millions de t, la désulfuration du gaz naturel a représenté 2,8 millions de t, celle des sables bitumineux (qui renferment, en moyenne, 5 % de soufre) 2,1 millions de t, le raffinage du pétrole a fourni 0,6 million de t et le grillage des minerais sulfurés, 0,65 million de t.
- La production de soufre brut de l'Union européenne, en 2023, est de 980 233 t, dont 429 781 t en Finlande, 235 628 t, en Italie, en 2022, 41 968 t en Suède, en 2022.

Producteurs :

Les principaux producteurs de soufre sont les sociétés productrices de gaz naturel et de pétrole : [Aramco](#) en Arabie Saoudite (6,5 millions de t, en 2017), [Gazprom](#) en Russie (5,022 millions de t, en 2020), [Exxon Mobil](#), [Abu Dhabi National Oil Company \(Adnoc\)](#) (3,5 millions de t), [ConocoPhillips](#), [Valero Energy](#) (1,2 million de t), [Chevron](#), [Shell](#), [BP](#), [TotalEnergies](#)...

Transport et commerce international du soufre brut : il est transporté, en grande partie, sous forme de granulés ou liquide entre 124 et 145°C. Il ne concerne que le soufre élémentaire.

Exportations : en 2023, sur un total de 22,619 millions de t, en 2021.

en milliers de t			
Émirats Arabes Unis	7 020	États-Unis	1 853
Kazakhstan	4 126	Koweït	1 598
Qatar	3 240	Corée du Sud	1 540
Arabie Saoudite	3 177	Inde	1 403
Canada	3 076	Russie	1 004

Source : ITC

Les exportations du Kazakhstan sont destinées à 47 % au Maroc, 11 % à la Russie, 9 % à la Chine, 8 % au Sénégal.

Importations : en 2023.

en milliers de t			
Chine	8 833	Inde	1 630
Maroc	6 505	États-Unis	1 414
R.D. du Congo	2 695	Australie	1 046
Indonésie	2 686	Tunisie	833
Brésil	2 425	Zambie	733

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent à 14 % du Canada, 13 % de Corée du Sud, 12 % des Émirats Arabes Unis, 9 % d'Arabie Saoudite, 9 % du Japon.

Situation française

Production totale, en 2017 : 448 000 t dont 370 000 t par désulfuration du pétrole et 78 000 t par grillage.

Commerce extérieur : en 2023.

Exportations :

- Soufre brut : 6 302 t vers l'Italie à 52 %, la Belgique à 29 %, l'Allemagne à 11 %, les Pays Bas à 3 %.
- Soufre sublimé, précipité ou colloïdal : 371 t vers les Pays Bas à 78 %, l'Espagne à 12 %, l'Algérie à 6 %.

Importations :

- Soufre brut : 87 126 t d'Allemagne à 27 %, d'Espagne à 26 %, de Lituanie à 13 %, de Belgique à 9 %, du Royaume Uni à 9 %.
- Soufre sublimé, précipité ou colloïdal : 1 029 t d'Espagne à 93 %, d'Allemagne à 3 %, d'Italie à 3 %.

Utilisations

Consommations : de soufre, en 2020, en % de la consommation mondiale.

Chine continentale	26 %	Europe de l'est	9 %
Afrique (Maroc...)	17 %	Amérique centrale et du sud	7 %
Moyen Orient	12 %	Europe de l'ouest	4 %
États-Unis	11 %	Asie du sud-ouest	4 %

Source : IHS Markit

En 2020, la consommation est de 61,88 millions de t dont 10 millions de t, en 2021, aux États-Unis.

Secteurs d'utilisation :

Dans le monde, en 2014, 91 % du soufre est destiné à fabriquer l'[acide sulfurique](#) dont 60 % est destiné à l'élaboration des [engrais](#) et 34 % à des utilisations non agricoles (fabrication du caprolactame monomère pour la synthèse du nylon-6, alkylation dans l'industrie pétrolière, vulcanisation du caoutchouc, traitements de lixiviation dans l'extraction minière, élaboration du [dioxyde de titane](#), élaboration du [tripolyphosphate](#) pour l'industrie des détergents, élaboration de phosphates pour l'alimentation animale et humaine, fabrication de la pâte à papier, fabrication de l'[acide fluorhydrique](#)...).

Aux États-Unis, en 2021, environ 90 % du soufre est consommé pour produire de l'acide sulfurique. Les utilisations finales sont de 60 % en agriculture, 24 % dans le raffinage pétrolier, 4 % dans l'extraction minière.

Principales utilisations :

- L'élaboration de l'acide sulfurique et ses utilisations sont traitées dans le chapitre [acide sulfurique](#).
- L'élaboration de l'[acide phosphorique](#) et des [engrais phosphatés](#) est traitée dans les chapitres correspondants.

Autres utilisations :

- Agriculture (hors engrais) : utilisation de soufre trituré (broyé, particules d'environ 100 µm), micronisé (broyé, particules de 10 à 60 µm), sublimé (fleur de soufre, particules de 5 à 15 µm) en viticulture et arboriculture pour lutter contre l'oïdium et l'excoriose. En France, en 2007, 1/3 des vignes sont traitées à l'aide de soufre qui représente 70 % du tonnage des fongicides utilisés. En arboriculture, le soufre est utilisé sur 15 % des surfaces et il représente 50 % de la quantité de fongicides employés.
- [Caoutchouc](#) : 2 % de soufre lui permet de conserver son élasticité à froid et à chaud.
- Fabrication du disulfure de carbone (CS₂) par réaction du soufre avec le [méthane](#) vers 600-700°C. Le disulfure de carbone est principalement employé comme solvant d'extraction et d'intermédiaire de synthèse pour la fabrication de la viscose, du [tétrachlorure de carbone](#), des films de cellophane, de produits agrochimiques et pharmaceutiques, de caoutchoucs (accélère la vulcanisation). La capacité mondiale de production est d'environ 1 million de t/an avec des consommations qui diminuent régulièrement.

La fabrication de divers produits soufrés (carbazides, isothiocyanates, dithiocarbamates, thiourée...) obtenus à partir de sulfure de carbone (CS₂) est réalisée, en France, par Arkema, via sa filiale [MLPC International](#) (Manufacture Landaise des Produits Chimiques) sur les sites de Rion des Landes et Lesgor (40). Ces produits sont employés, particulièrement dans l'industrie du caoutchouc, comme accélérateurs de vulcanisation.

- Fabrication du bisulfite de calcium utilisé dans la fabrication de la pâte à papier (procédé au bisulfite).