

# CHLORURE DE POTASSIUM 2024

Le chlorure de potassium, KCl, étant principalement employé dans l'industrie des engrais et en agriculture, les quantités et les teneurs sont souvent exprimées en K<sub>2</sub>O avec : 1 t KCl = 0,631 t K<sub>2</sub>O. Dans l'industrie des engrais et en agriculture, il est appelé improprement « potasse » et « muriate of potash (MOP) » dans les pays anglosaxons.

Le chlorure de potassium est directement extrait du sol ou de solutions salines et ne subit qu'une purification.

## État naturel

La teneur moyenne de l'écorce terrestre en élément potassium, K, est de 2,4 %. Il est surtout présent dans des feldspaths, en particulier l'orthose, KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, des feldspathoïdes comme la leucite, KAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> ou la néphéline, Na<sub>3</sub>KAl<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>16</sub>, des micas avec la muscovite, KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(F,OH)<sub>2</sub> ou la biotite, K(Mg,Fe)<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>.

Sous forme de chlorure, KCl, il est présent, principalement, dans des dépôts marins fossiles en présence, en général, de chlorure de sodium. C'est sous cette forme, ainsi que des eaux de la Mer Morte ou de lacs salés, qu'il est extrait et utilisé principalement dans l'industrie des engrais.

**Minerais** : le principal minéral est la sylvinita (KCl-NaCl), les autres minéraux exploités sont la carnallite (KCl-MgCl<sub>2</sub>), la kaïnite (KCl-MgSO<sub>4</sub>) et la langbeinita (MgSO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). La sylvinita est un mélange de sylvine (KCl) et de halite (NaCl). La sylvinita a été découverte en 1856 dans un gisement de sel gemme, en Allemagne et son exploitation a débuté en 1861 en Allemagne dans les gisements de Hanovre et de la Werra. Les mines sont exploitées par voie souterraine, pour 80 % de la production mondiale ou par dissolution in situ, pour 6 % de la production. Diverses exploitations souterraines ont été inondées et ont vu leur exploitation se poursuivre par dissolution. Par ailleurs, l'exploitation de la Mer Morte et celle de lac salés donne 14 % de la production mondiale.

**Le gisement des Mines de Potasse d'Alsace** : il s'est formé à l'Oligocène, il y a 26 à 38 millions d'années, selon un régime lagunaire, la lagune étant alimentée périodiquement en eaux nouvelles par le jeu d'une « barre ». Au sein des couches de sylvinita, l'alternance sylvite (KCl), sel gemme (NaCl) correspondrait à des changements de saison, KCl se déposant en saison froide, NaCl en saison chaude. Il est situé dans la plaine d'Alsace, au nord-ouest de Mulhouse. Il couvre environ 20 000 hectares. L'exploitation du gisement s'est terminée en 2002.

Le gisement a été découvert en 1904. Il est constitué de deux couches séparées par 20 m de sel gemme, marnes et anhydrite (CaSO<sub>4</sub>) situées à une profondeur variant de 400 à 1100 m.

- La couche inférieure, la plus puissante, a une épaisseur comprise entre 3 m et 5,50 m, sa formation aurait duré 160 ans
- La couche supérieure d'épaisseur comprise entre 1 et 2,20 m s'est formée durant environ 30 ans.

Chaque couche est composée de filets alternés (d'épaisseur variant du mm au cm), de KCl, de NaCl et d'argile.

Le minéral (la sylvinita) a une teneur de 25 % de sylvine, 60 % de sel gemme et 15 % d'éléments insolubles (argiles...). Il contient également du bromure de potassium qui était récupéré et valorisé pour produire du dibrome.

300 km de galeries (largeur environ 4 m, hauteur environ 3 m), avant la fermeture de la mine, étaient en service.

Le minéral était extrait par la méthode du havage intégral. Une haveuse (fraiseuse) munie de couteaux en acier au carbure de tungstène attaque le banc de minéral sur 1 m de large et sur 1 à 4 m de haut suivant les chantiers, à une vitesse variant de 50 à 100 m/h. L'extraction cumulée, depuis

1910, de minerai brut est supérieure à 500 millions de t. Le maximum d'extraction a été atteint en 1974, avec 13,4 millions de t de minerai brut.

## Traitements du minerai

Trois procédés sont utilisés : le traitement thermique par dissolution puis cristallisation, la flottation et la séparation électrostatique.

Le traitement du minerai consiste, après broyage, à séparer les divers constituants, chlorure de potassium, chlorure de sodium, autres minéraux riches en potassium (carnallite, kaïnite, langbeinite) ou en magnésium (kiesérite,  $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) et insolubles (argiles). Le broyage du minerai est conditionné par le traitement de séparation utilisé, la flottation et la séparation électrostatique demandant un broyage plus poussé que le traitement thermique afin de séparer physiquement les particules. L'extraction par dissolution in situ échappe à cette opération préalable et se poursuit par traitement thermique.

- **Thermique** par dissolution puis cristallisation : le minerai, après un broyage grossier jusqu'à des tailles de particules de 5 à 9 mm, est attaqué à 100°C par une solution aqueuse saturée à 20°C (eau-mère) en KCl et NaCl (147 g/L de KCl et 292 g/L de NaCl). Seul KCl passe en solution. La solution saturée (saumure) à 100°C contient alors 280 g/L de KCl et 250 g/L de NaCl. Par refroidissement jusqu'à 30°C et par évaporation sous vide, KCl cristallise et la saumure redevient eau-mère. Le rendement en KCl est d'environ 93 %.
- **Par flottation** : le minerai broyé à environ 0,8 mm, afin de libérer ses divers constituants, est mis en suspension dans une eau-mère froide. L'injection massive d'air, dans des cellules de 8,3 m<sup>3</sup> et l'ajout de collecteur (acétate de stéarylamine), moussant (huile de pin) et déprimant (fécule de pomme de terre) permet de faire flotter KCl qui est récupéré dans les mousses. Les rendements de récupération sont de 92 à 93 %.
- **Électrostatique** : les minéraux contenus dans le minerai n'étant pas naturellement conducteurs, il est nécessaire de soumettre au préalable le minerai à un champ électrique, qui induira à la surface des particules des charges opposées plus ou moins importantes en fonction de leur nature chimique. La séparation est réalisée à sec.

Au Canada et aux États-Unis, pour les exploitations souterraines classiques, c'est la flottation qui est principalement, à 70 %, utilisée, le traitement thermique étant réservé au chlorure de potassium destiné à des applications industrielles. Il en est de même en Espagne.

En Allemagne, ce sont les traitements thermiques et la séparation électrostatique qui sont employés.

Le chlorure de potassium obtenu selon le procédé thermique est blanc, celui obtenu par flottation ou par séparation électrostatique est rose (couleur qu'il possède dans le minerai).

Le co-produit principal est le chlorure de sodium qui est soit stocké et utilisé en partie comme sel de déneigement soit évacué dans les fleuves. Du dibrome est également co-produit. Au niveau mondial, pour une production de 55 millions de t de KCl, la coproduction de NaCl est de plus de 80 millions de t.

Le chlorure de potassium destiné à la fertilisation contient au moins 95 % de KCl, la principale impureté étant le chlorure de sodium. Sa teneur, exprimée en équivalent K<sub>2</sub>O, est de 60 à 61 % de K<sub>2</sub>O. Celui destiné aux applications industrielles, obtenu selon la voie thermique, renferme plus de 99 % de KCl.

## Productions minières

### Production minière de chlorure de potassium

*En milliers de tonnes de K<sub>2</sub>O, en 2024, sur un total mondial de 48 millions de t de K<sub>2</sub>O. Source : USGS*

en milliers de t de K<sub>2</sub>O

Canada	15 000	Jordanie	1 800
Russie	9 000	Laos	1 500
Biélorussie	7 000	Chili	750
Chine	6 300	États-Unis	420
Allemagne	3 000	Espagne	400
Israël	2 400	Brésil	360

*Source : USGS*

La production de l'Union Européenne, en Allemagne et Espagne, en 2021, est de 2,7 millions de t de K<sub>2</sub>O.

Les capacités mondiales de production sont, en 2022, de 80,380 millions de t/an de KCl, dont 24,770 millions de t/an au Canada.

- Les gisements canadiens sont tous situés dans la province de [Saskatchewan](#). Ils ont été découverts, en 1943, lors de forages pétroliers. Le gisement, constitué de couches horizontales, de 2 à 3 mètres d'épaisseur, situé à environ 1 000 m de profondeur, est exploité par 10 mines en activité (6 exploitées par Nutrien, 3 par Mosaic, 1 par K+S). 7 mines sont exploitées de façon classique par voie souterraine alors que 3 mines (Patience Lake par Nutrien, Belle Plaine par Mosaic et Bethune par K+S) sont exploitées par dissolution in situ du sel. Les ressources sont évaluées à plus de 75 milliards de t de minerai à une teneur de 21 à 27 % de K<sub>2</sub>O. La capacité de production des mines canadiennes du Saskatchewan est, en 2021, de 24,4 millions de t/an de KCl.
- [BHPBilliton](#), développe le projet de la mine Jansen, avec une capacité de production prévue à terme de 10 millions de t/an. Les réserves sont de 1,07 milliard de t de minerai titrant 24,9 % de K<sub>2</sub>O. L'exploitation devrait commencer en 2026, avec 4,15 millions de t/an.
- En Russie, le gisement de Verkhnekamskoye, dans la région de Perm, dans l'Oural, est le 2<sup>ème</sup> plus important gisement dans le monde après le gisement canadien. Le principal exploitant de ce gisement est le groupe [Uralkali](#).
- En Biélorussie, le gisement exploité est celui de Starobin, près de Soligorsk.
- En Allemagne, les mines, exploitées principalement par K+S, sont situées dans le centre du pays, surtout dans les lands de Hesse et Thuringe.
- Israël et la Jordanie exploitent les eaux salées de la Mer Morte.
- Au Chili, c'est le salar d'Atacama qui est exploité.
- En Espagne, la mine exploitée est située en Catalogne.
- Aux États-Unis, les mines sont situées au Nouveau Mexique et dans l'Utah.

En République du Congo, divers projets sont en cours d'étude et de développement. Dans ce pays, un gisement de sylvinit et de carnallite a été découvert en 1935 et entre 1969 et 1977, l'exploitation souterraine du gisement à Holle, a permis une production de 450 000 t/an de KCl. Toutefois, le 20 juin 1977, une inondation de la mine a entraîné l'arrêt de la production.

L'exploitation de ce gisement, situé dans le département du Kouilou, à peu de distance du port en eaux profondes de Pointe Noire devrait permettre une évacuation facile pour alimenter le marché mondial et en particulier le Brésil, l'un des premiers pays importateurs. Parmi les projets les plus avancés on peut citer la société Sintoukola, propriété à 97 % de la société britannique [Kore Potash](#), avec 2 projets. Celui d'une mine souterraine de sylvinit à Kola avec une production de 600 000 t/an puis de 1,2 million de t/an avec des réserves de 152 millions de t de minerai renfermant 32,5 % de KCl et celui d'une mine de carnallite à Dougou, avec une production, par dissolution in situ, de 400 000 t/an de KCl et des ressources de 3 milliards de t de minerai à 20,7 % de KCl.

## Commerce international : en 2023.

Principaux pays exportateurs : sur un total de 54,312 millions de t de KCl destinées à une utilisation comme engrais.

en milliers de t de KCl			
Canada	22 383	Jordanie	2 683
Russie	9 782	Laos	2 483
Biélorussie	9 032	Espagne	496
Israël	3 670	Chili	369
Allemagne	3 133	Ouzbékistan	187

Source : Nutrien Fact Book 2024

Les exportations du Canada sont destinées à 46 % aux États-Unis, 19 % au Brésil, 8 % à la Chine, 5 % à l'Inde.

La société [Canpotex](#), joint venture entre Nutrien et Mosaic, assure les ventes du chlorure de potassium de ces groupes à l'étranger, hors États-Unis.

Principaux pays importateurs : sur un total de 54,312 millions de t de KCl destinées à une utilisation comme engrais.

en milliers de t de KCl			
Brésil	13 168	Malaisie	1 467
Chine	11 225	Bangladesh	1 176
États-Unis	8 863	Vietnam	972
Inde	3 247	Thaïlande	771
Indonésie	2 488	Belgique	740

Source : Nutrien Fact Book 2024

Les importations du Brésil proviennent du Canada à 37 %, de Russie à 30 %, d'Ouzbékistan à 9 %. Celles des États-Unis, du Canada à 89 %, de Russie à 8 %.

Celles de Chine, de Biélorussie à 29 %, de Russie à 26 %, du Canada à 2817 %, du Laos à 15 %.

Principaux producteurs : en 2024 sur une capacité totale de 103,5 millions de t/an.

répartition, en %			
<a href="#">Nutrien</a> (Canada)	20 %	<a href="#">ICL</a> (Israël)	5 %
<a href="#">Belaruskali</a> (Biélorussie)	14 %	<a href="#">QSL</a> (Chine)	5 %
<a href="#">Uralkali</a> (Russie)	14 %	<a href="#">Eurochem</a> (Russie)	5 %
<a href="#">Mosaic</a> (États-Unis)	14 %	<a href="#">APC</a> (Jordanie)	3 %
<a href="#">K+S</a> (Allemagne)	7 %	<a href="#">SQM</a> (Chili)	2 %

Source : ICL

- [Nutrien](#) issu, de la fusion, effective depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2018, entre PotashCorp (Potash Corporation of Saskatchewan, Canada) et Agrium est n°1 mondial avec 6 exploitations au Saskatchewan (Lanigan avec une production, en 2024, de 3,4 millions de t de KCl, Rocanville, 5,2 millions de t, Cory, 2,11 millions de t, Allan, 2,4 millions de t, Patience Lake, 250 000 t et Vanscoy, 1,03 million de t). Les réserves prouvées et probables sont de 2,114 milliards de t de mineraux d'une teneur comprise entre 22,5 et 24,8 % de K<sub>2</sub>O. En 2024, la production totale est de 14,21 millions de t de KCl.
- [Belaruskali](#) (Biélorussie), exploite, avec 6 mines, à Boligorsk, le gisement de Starobin qui s'étend sur 350 km<sup>2</sup>. En 2021, la production a été de 12,5 millions de t de KCl.
- [Uralkali](#) (Russie) exploite avec 5 mines, le gisement de Verkhnekamskoye, en Russie, entre Berezniki et Solikamsk, dans la région de Perm. Le gisement a été découvert en 1925. En

2021, la production a été de 12,3 millions de t de KCl. Les réserves prouvées et probables sont, début 2020, de 1,256 milliard de t de minerai titrant 16,5 % de K<sub>2</sub>O.

- Mosaic, exploite 3 mines au Canada, dans la province du Saskatchewan (Belle Plaine, avec une production, en 2024, de 3,0 millions de t de KCl, Esterhazy, avec 4,7 millions de t et Colonsay avec 600 000 t) et une mine aux États-Unis, à Carlsbad, au Nouveau Mexique, avec 500 000 t. La production totale, en 2024, est de 8,8 millions de t. Les réserves sont de 2,166 milliards de t de minerai titrant 20,3 % de K<sub>2</sub>O. En décembre 2016, Mosaic a acquis les activités de Vale dans les engrais et en particulier une mine au Brésil, Taquari-Vassouras, dans l'État de Sergipe, avec une capacité de production de 520 000 t/an, une production, en 2021, de 426 000 t et des réserves de 9,9 millions de t à 23,88 % de K<sub>2</sub>O.
- K+S (Allemagne), premier producteur européen, avec des ventes de 5,2 millions de t en 2021, exploite 5 mines en Allemagne (Wintershall, Hattorf, Unterbreizbach, Zielitz et Neulof-Ellers) avec des réserves de 1,1 milliard de t de KCl. Par ailleurs, K+S a inauguré, en mai 2017, la mine de Bethune, dans la province du Saskatchewan, au Canada, avec une production en 2021 de 1,9 million de t et des réserves de 200 millions de t de KCl d'un minerai titrant 18 % de K<sub>2</sub>O. Le gisement, à 1 500 m de profondeur, d'une épaisseur de 33 m, est exploité par dissolution in situ.
- ICL (Israël Chemical Ltd, Israël), qui exploite, à Sodom, les eaux de la Mer Morte et possède une mine en Espagne a produit, en 2024, 4,502 millions de t de KCl.
  - L'exploitation de la Mer Morte, en 2024, par pompage de 469 millions de m<sup>3</sup> d'eau a donné, 3,700 millions de t de KCl, 125 000 t de NaCl, 190 000 t de dibrome, 111 000 t de chlorure de magnésium et 17 000 t de magnésium.
  - En Espagne, ICL extrait du chlorure de potassium, en Catalogne, dans la mine de Cabanases (Suria). La capacité de production de 1 million de t/an de KCl en 2021 devrait être portée à 1,3 million de t/an. La production a été, en 2024, de 802 000 t de KCl avec des réserves prouvées et probables de 95,3 millions de t à 25,6 % de KCl.
  - En Éthiopie, ICL développe le projet de la mine de Danakhil, dans l'Afar.
- Qinghai Salt Lake (QSL), société d'État chinoise, en cours de restructuration, a produit, en 2019, 5,63 millions de t de KCl.
- Le groupe Eurochem, développe, en Russie, deux projets importants, celui de VolgaKaliy, dans la région de Volgograd, avec des réserves de 1,6 milliard de t de minerai renfermant 39,5 % de KCl et une capacité de production de 2,3 millions de t/an pouvant être portée à 4,6 millions de t/an et celui de Usolskiy, dans la région de Perm, avec des réserves de 2,3 milliards de t renfermant 30,8 % de KCl et une capacité de production de 2,3 millions de t/an pouvant être portée à 4 millions de t/an. En 2021, la production est de 2,512 millions de t de KCl.
- APC (Arab Potash Company) exploite comme ICL, les eaux de la Mer Morte. En 2023, la production est de 2,780 millions de t de KCl. Les parts de 28 % détenues par Potash Corp ont été acquises par Man Jia Industrial Development, société étatique chinoise.
- SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) exploite le salar d'Atacama au Chili et a produit, en 2024, 925 000 t de chlorure et sulfate de potassium. Les réserves prouvées et probables du salar d'Atacama sont de 275 millions de m<sup>3</sup> avec une teneur de 2,21 % en ions K<sup>+</sup> et 0,20 % en ions Li<sup>+</sup>.

**Réserves** : elles sont estimées, en 2024, à plus de 4,8 milliards de t de K<sub>2</sub>O.

en millions de t de K<sub>2</sub>O

Canada	1 100	Jordanie, en 2018	270
Laos	1 000	États-Unis	220
Russie	920	Chine	180

Biélorussie	750	Allemagne	150
Israël, en 2018	270	Chili	100

*Source : USGS*

## Situation française

En t de K<sub>2</sub>O.

**Production** : nulle depuis la fermeture des Mines de Potasse d'Alsace, en 2002.

**Commerce extérieur** : en 2024.

Les exportations étaient de 5 713 t avec comme marché principal à :

- 55 % la Norvège,
- 22 % la Belgique,
- 15 % la Suisse.

Les importations s'élevaient à 308 862 t en provenance principalement à :

- 35 % d'Allemagne,
- 14 % du Canada,
- 12 % de Belgique,
- 10 % de Russie,
- 10 % d'Espagne.

**Consommations**, en 2022-23, en t de K<sub>2</sub>O.

- Engrais simples : 126 450 t.
- Engrais binaires PK : 49 343 t.
- Engrais ternaires\* et binaires NK : 40 197 t.

(\* Composition des engrais ternaires les plus courants : 17 % N-17 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-17 % K<sub>2</sub>O)

Soit un total de 215 990 t de K<sub>2</sub>O.

La consommation à l'hectare est de 17 kg de K<sub>2</sub>O. En France, entre 1988 et 2017, la fertilisation minérale en K<sub>2</sub>O a diminué de 77 %.

## Utilisations

**Consommations** : en 2023. Monde, en 2022 : 35,478 millions de t de K<sub>2</sub>O. Union européenne, en 2019 : 3,163 millions de t de K<sub>2</sub>O.

en milliers de t de K<sub>2</sub>O

Brésil	7 239	Malaisie	1 401
États-Unis	4 805	Vietnam	593
Chine	3 611	Russie	522
Indonésie	2 306	Pologne	478
Inde	2 287	Bangladesh	457

*Source : Nutrien*

KCl est essentiellement, à 86 % en 2018, utilisé comme engrais, le reste par l'industrie chimique (voir le chapitre consacré à l'hydroxyde de potassium).

Lors des utilisations comme engrais, les ions K<sup>+</sup> sont, à 85 %, apportés sous forme de KCl et à 8 %

apportés sous forme de sulfate de potassium,  $K_2SO_4$ . Le sulfate de potassium est préparé par action de l'acide sulfurique sur KCl ou à partir d'autres minéraux (saumures, langbeinite...). Il est utilisé pour certaines cultures (tabac, fruits, légumes...) pour lesquelles la présence des ions  $Cl^-$  est néfaste. La production de sulfate de potassium, dans l'Union européenne, est, en 2020, de 1,438 million de t, exprimées en  $K_2O$ .

En agriculture, l'apport d'ions  $K^+$ , provient également des excréptions animales. En effet, celles-ci représentent, en 2013, 75 % des apports, ceux de la fertilisation minérale représentant 22 %, le reste, provenant d'autres apports organiques comme les vinasses concentrées de betteraves.

#### **Utilisation alimentaire de KCl :**

Le sel de marque « Minisel » contient 2/3 de KCl pour 1/3 de NaCl. Ce sel diététique est destiné à corriger le déséquilibre  $Na^+/K^+$  fréquent dans les cas d'hypertension artérielle. Ce type de sel est très répandu au Japon et en Scandinavie.