

## CHLORURE DE SODIUM 2015

### ETAT NATUREL :

Le chlorure de sodium, NaCl, est d'origine marine. La teneur moyenne des océans est, en moyenne, de 30 g/L et varie de 20 g/L en mer Baltique à 79 g/L en mer Morte, soit 40 millions de milliards de t de chlorure de sodium contenues. Si tous les océans de la terre étaient asséchés, 75 % de la surface du globe serait recouverte d'une couche de 75 m de sel.

Le chlorure de sodium est soit récupéré à partir de l'eau de mer dans des marais salants, soit exploité dans des gisements de sel gemme qui ont été formés par dépôts à partir d'eau de mer. Aux États-Unis, les réserves de sel gemme sont estimées à plus de  $55.10^{12}$  t. Les lacs salés sont également exploités, industriellement aux États-Unis ou artisanalement dans de nombreux autres pays. Le plus grand lac salé du monde est celui d'Uyuni, en Bolivie, de 10 000 km<sup>2</sup>, situé à 2653 m d'altitude. Ses réserves sont de 63 milliards de t de chlorure de sodium, 9 millions de t de sels de [lithium](#) (2/3 des réserves mondiales), 200 millions de t de sels de [magnésium](#), [potassium](#)...

### **Principaux constituants de l'eau de la mer Méditerranée (en kg par tonne) :**

ions	concentration	ions	concentration	ions	concentration	ions	concentration
Cl <sup>-</sup>	20,4	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,8	Ca <sup>2+</sup>	0,4	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1
Na <sup>+</sup>	11,4	Mg <sup>2+</sup>	1,4	K <sup>+</sup>	0,4	Br <sup>-</sup>	0,07

### **Sels formés par l'évaporation totale dans les marais salants d'une tonne d'eau :**

sels	masse (kg)	sels	masse (kg)	sels	masse (kg)
NaCl	28,46	MgSO <sub>4</sub>	2,22	<a href="#">KCl</a>	0,74
<a href="#">MgCl<sub>2</sub></a>	3,73	<a href="#">CaSO<sub>4</sub></a>	1,46	NaBr	0,09

### **Cristallisation fractionnée lors de l'évaporation de l'eau de mer :**

densité	volume de solution	sel précipité
1,025	1000	
1,059	476	<a href="#">CaCO<sub>3</sub></a>
1,125	200	CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O
1,209	112	NaCl
1,264	30	MgCl <sub>2</sub> et MgSO <sub>4</sub>

La production de chlorure de sodium dans les marais salants est réalisée de telle sorte que NaCl récolté soit le plus pur possible. Il faut pour cela, à l'aide de circuits complexes, éviter la coprécipitation des autres sels tels que ceux de magnésium.

## **RESSOURCES :**

**Sel de première intention :** il est obtenu à partir :

- de l'eau de mer par la technique agricole des marais salants (salins).

Exemple de Salin de Giraud (13), lorsque la capacité de production était de 800 000 t de sel/an avec une superficie de 11 000 ha. L'eau de mer qui était pompée avec un débit de 10 à 15 m<sup>3</sup> par seconde parcourait un circuit de 70 à 100 km. Le volume de saumures contenu était d'environ 35 millions de m<sup>3</sup>. Une énergie solaire gratuite de 2 millions de t équivalent-pétrole était utilisée. Après cristallisation du sel, le traitement des "eaux mères" donne des produits magnésiens (sulfate, hydroxyde, chlorure...). La capacité de production n'est plus que de 340 000 t/an, depuis 2011, après l'arrêt de l'approvisionnement de l'usine de chlore-soude d'Arkema à Saint Auban.

- de gisements de sel gemme (halite) exploités par technique minière. La teneur minimale des gisements pour être exploités est de 90 % en NaCl. En France, une seule mine est en exploitation, celle de Saint Nicolas à Varangéville, près de Nancy (54), située à 160 m de profondeur. Le gisement, de 12 000 km<sup>2</sup> de superficie, possède mille milliards de t de réserves. La couche inférieure (sel de Muschelkalk) s'est déposée il y a 215 à 220 millions d'années, la couche supérieure (de Keuper) il y a 100 à 135 millions d'années. La capacité de production est de 525 000 t/an. Le puits a été foré en 1868.

La plus importante mine de sel gemme au monde, avec une capacité de production de 9 millions de t/an, exploitée par Sifto, filiale de Compass Minerals, est située à Goderich, en Ontario (Canada). Le gisement a été découvert lors d'une recherche de pétrole. La couche de sel exploitée est située à 550 mètres de profondeur. Le sel a été initialement extrait sous forme de saumure puis, à compter de 1959, une exploitation minière a débuté.

- de gisements de sel gemme exploités par circulation d'eau in situ : on obtient des saumures saturées en sel (environ 300 g/L). L'eau de ces saumures peut être évaporée artificiellement dans des salines pour obtenir du sel cristallisé (sel ignigène). Les saumures (sel de dissolution) sont souvent utilisées directement comme matière première industrielle pour la production de chlore et d'hydroxyde de sodium.

**Production fatale** de sel lors :

- du traitement de minerais : on obtient du sel thermique (ou sel coproduit) lors du traitement de la sylvinite, minéral de potasse (voir le chapitre engrais). Cette production, liée à celle de la sylvinite, s'est terminée en 1999, en France, avec l'arrêt de l'exploitation des Mines de Potasse d'Alsace.

- de procédés industriels : la concentration des lessives de soude donne, par an, en France, environ 600 000 t de sel qui sont directement recyclées pour produire du dichlore et de la soude (voir les chapitres hydroxyde de sodium et chlore).

**Consommation d'énergie** : en fonction du type d'exploitation.

- Marais salants : 68 MJ/t de sel.
- Sel gemme : 195 MJ/t de sel.
- Sel ignigène : de 2 200 à 2 500 MJ/t de sel.

**PRODUCTIONS** (sel cristallisé et de dissolution) : en 2015, en milliers de t. Monde : 273 000, Union européenne : 48 835.

Chine	70 000	Mexique	10 500
États-Unis	48 000	Chili	9 000
Inde	17 000	Brésil	7 500
Allemagne	12 500	Royaume Uni	6 700
Canada	12 500	Ukraine	6 100
Australie	11 000	France	6 000

Source : USGS

Depuis 2005, la Chine a supplanté les États-Unis comme premier producteur mondial.

Dans le monde, en 2013, 40 % de la production est assurée par l'exploitation de marais salants ou de lacs salés, 26 % par l'exploitation de gisements de sel gemme et 34 % par l'extraction de saumures.

Aux [États-Unis](#), en 2015, 44 % de la production est sous forme de sel gemme, 38 % de saumures, 9 % de sel ignigène, 9 % de sel de mer. La production est assurée, à 95 % par les états suivants : Kansas, Louisiane, Michigan, état de New York, Ohio, Texas, Utah.

Cas particulier du Japon : pour des raisons climatiques, la technique des marais salants n'y est pas efficace. Ce pays a développé la production de sel par électrodialyse qui couvre environ la moitié de la production de sel cristallisé. La production de sel est la 2<sup>ème</sup> utilisation de l'électrodialyse dans le monde, après le dessalement des eaux saumâtres. La production ne couvrant pas la consommation, des sociétés japonaises exploitent des marais salants à l'étranger, par exemple au Mexique, en Basse Californie, où [Mitsubishi](#) possède 49 % de [Exportadora de sal](#), des plus grands marais salants au monde ou en Australie avec [Mitsui](#).

**Commerce mondial** : en 2015.

Les ressources en sel sont bien réparties et abondantes sauf au Japon (en 2015, production : 938 000 t, consommation : 7,733 millions de t, le sel étant importé surtout d'Australie et du Mexique) et en Scandinavie (pas de production, importations : 1,9 million de t/an). Les échanges mondiaux portent sur environ 20 % de la production de sel cristallisé.

Principaux pays exportateurs : en milliers de t. Monde : 69,4 millions de t.

Australie, estimation	10 000	Pays Bas	4 307
Chili	9 984	Allemagne	3 126
Mexique	7 796	Biélorussie	1 459
Inde	6 490	Espagne	1 395
Canada	5 986	Chine	1 306

Source : ITC

Principaux pays importateurs : en milliers de t. Monde : 54,9 millions de t.

États-Unis	21 700	Allemagne	2 344
Japon	7 116	Canada	2 170
Chine	6 876	Indonésie	1 864

Corée du Sud	4 098	Russie	1 751
Taiwan	3 074	Belgique	1 369

Source : ITC

Les importations des États-Unis proviennent du Canada à 40 %, du Chili à 28 %, du Mexique à 9 %.

**Principaux producteurs mondiaux** : en 2015, en millions de t/an de capacité de production..

<a href="#">K+S</a>	32	<a href="#">Exportadora de Sal</a> (Mexique)	7
<a href="#">China National Salt</a>	18	<a href="#">Akzo Nobel</a> (Pays Bas)	6
<a href="#">Compass Minerals</a>	14	<a href="#">SüdSalz</a> (Allemagne)	5
<a href="#">Cargill Salt</a>	14	<a href="#">American Rock Salt</a> (Etats-Unis)	5
<a href="#">Dampier Salt</a> (Australie)	10	<a href="#">Salins</a> (France)	4
<a href="#">Artyomsol</a> (Ukraine)	8	<a href="#">Mitsui</a> (Australie)	4

Source : K+S

Le n°1 mondial est le groupe allemand [K+S](#) après les acquisitions de la société chilienne [Sociedad Punta de Lobos](#) (SPL) en 2006 et de la société nord américaine [Morton Salt](#) en octobre 2009. Les capacités mondiales de production sont de 32 millions de t/an :

- 14 millions de t/an avec sa filiale Morton aux États-Unis, Canada et Bahamas dans 6 mines, 3 salins et 9 unités de production de sel ignigène.
- 8 millions de t/an, au Chili dans la mine de Salar Grande de Tarapacá, dans le désert d'Atacama et 0,5 million de t/an dans un salin au Brésil à Salina Diamante Branco, dans le Natal.
- 9 millions de t/an de sel cristallisé et 1,7 million de t de saumure par sa filiale European Salt Company ([Esco](#)), en Europe (Allemagne, France, Espagne, Pays Bas et Portugal), dans 3 mines en Allemagne, 2 exploitations de saumure et plusieurs exploitations de sel ignigène. En 2015, les ventes ont été de 22,7 millions de t de sel.

Le groupe [China National Salt](#) possède une capacité de production de 18 millions de t/an.

Avec des capacités de 14,2 millions de t/an, [Compass Minerals](#) exploite des mines à Goderich, Ontario au Canada (7,3 millions de t/an), Cote Blanche, Louisiane, aux États-Unis (2,7 millions de t/an), Winsford, dans le Cheshire au Royaume Uni (1,4 million de t/an), ainsi que du sel ignigène au Canada à Goderich (118 000 t/an), Unity, dans le Saskatchewan (145 000 t/an), Amherst, en Nouvelle Ecosse (118 000 t/an) et aux États-Unis à Lyons, au Kansas (408 000 t/an) et un marais salant dans le Grand Lac Salé, à Ogden, dans l'Utah (1,36 million de t/an) avec ses filiales : [North American Salt Company](#), aux États-Unis, [Sifto](#) au Canada. En 2015, les ventes de sel ont porté sur 10 millions de t.

Le groupe [Cargill Salt](#) possède des capacités de 13 millions de t/an aux États-Unis et 800 000 t dans un salin au Venezuela avec la société Producers.

[Dampier Salt](#), détenu à 68,4 % par [Rio Tinto](#), exploite avec de l'eau de mer les sites de Dampier avec 4,2 millions de t/an, Port Hedland avec 3,2 millions de t/an et avec les saumures du lac salé le site de Lake MacLeod avec 2,7 millions de t/an. En 2015 la production a été de 8,1 millions de t dont 5,5 millions de t pour Rio Tinto.

[Exportadora de Sal](#) (ESSA) détenue à 51 % par l'Etat mexicain et à 49 % par [Mitsubishi](#) exploite par évaporation solaire l'eau de mer, au Mexique, en Basse Californie, à Guerrero Negro, avec une surface de 33 000 hectares de marais salants.

Le groupe japonais [Mitsui](#) exploite des marais salants de [Shark Bay](#) et [Onslow](#), en Australie de l'Ouest.

En Europe (en millions de t/an de capacités de production, en 2015) : [Esco](#) (filiale de K+S) : 9, [Artyomso](#) (Ukraine) : 8,0, [Akzo Nobel](#) : 6,0, à Delfzijl et Hengelo aux Pays-Bas avec 5 millions de t/an et Mariager au Danemark, [SüdSalz](#) (Allemagne) : 5,0, [Salins](#) (France, Espagne) : 4,0, [Italkali](#) (Italie) : 2,0, [Compass Minerals](#) (Royaume-Uni) : 1,4, [British Salt](#) (Royaume Uni, propriété depuis décembre 2010 de [Tata Chemicals](#)) : 0,8.

[Lieux de production de sel, en Europe](#) (Document de l'European Salt Producers Association).

### **SITUATION FRANCAISE** : en 2015.

La production totale est de 5 931 008 t.

- Production de sel cristallisé (sel marin, ignigène et sel gemme), en 2013 : 2 143 300 t.
- Production de sel de dissolution, en 2013 : 5 168 900 t.
- La production de sel gemme provient entièrement de la mine de Saint Nicolas à Varangéville (54).
- La production, dans les marais salants, a été effectuée à 99 % en Méditerranée. La récolte de 1979, exceptionnelle, avait été de 1,8 million de t. La production des marais salants dépend fortement des conditions météorologiques (un violent orage sur Salin de Giraud peut amputer la production française de 100 000 t). La moyenne est de 1,3 million de t/an.
- Importations : 323 039 t d'Espagne à 19 %, des Pays Bas à 17 %, d'Allemagne à 16 %, du Maroc à 15 %, de Tunisie à 12 %.
- Exportations : 57 805 t vers le Luxembourg à 23 %, l'Autriche à 20 %, l'Allemagne à 14 %, la Belgique à 10 %.

### **Production des marais salants :**

En 1857, la production française de sel de mer était de 445 000 t dont 208 000 t sur la côte atlantique. Actuellement, cette production est marginale, comparée à celle de la côte méditerranéenne. Elle est réalisée aux 3/4 dans la presqu'île de Guérande (44)).

Exploitations salinières méridionales (capacités annuelles de production) :

	Capacité
Salin de Giraud	340 000 t/an

Aigues-Mortes	250 000 t/an
Berre	45 000 t/an

Cas particulier du salin de Berre : il est alimenté en saumure (de concentration nettement plus élevée que l'eau de mer) provenant du gisement de sel gemme de Manosque. Celui-ci sert (dans les cavités libérées par l'exploitation du sel de dissolution), depuis 1968, au stockage d'[hydrocarbures liquides](#). Les saumures circulent de Manosque au Salin de Berre en période de stockage d'hydrocarbures et en sens inverse en période de déstockage. De nouvelles cavités ont été aménagées par lessivage de sel en 1991 afin de stocker du [gaz naturel](#). Les 3 millions de m<sup>3</sup> de saumures formés ont été emmagasinés dans les étangs de Lavalduc et d'Engrenier. La saumure est transportée par saumoduc. Solvay exploite entre l'Allemagne et des usines de la Sambre (Belgique), un saumoduc de 286 km de long.

Les cavités de sel d'Etrez (01) et de Tersanne (26) permettent également de stocker du gaz naturel. Les 14 cavités de Tersanne de 160 000 m<sup>3</sup> en moyenne, soit au total 2,24 millions de m<sup>3</sup> permettent de stocker, sous pression (de 80 à 245 bar), 420 millions de m<sup>3</sup> (conditions normales) de gaz naturel. Elles ont donné lors de leur formation, par dissolution du sel, 6 millions de t de sel livré à Rhône-Poulenc (actuellement Solvay), société productrice, à l'époque, de dichlore. Le creusement a été effectué entre 1969 et 1984.

**Principaux producteurs français** : en 2015.

#### Salins :

- Capacités de production : 4 millions t de sel (3 millions de t de sel de mer, 610 000 t de sel igné et 525 000 t de sel gemme) dont 1,8 million de t en France. Productions également en Espagne (800 000 t) avec la filiale Salins Iberica à Torrevieja, Almeria, Cadix et Bonmati, Tunisie (plus de 1 million de t) avec la filiale Cutusal, Italie, à Porto Viro (200 000 t) et Sénégal avec le salins à Kaolack (240 000 t). Commercialise les marques : "[La Baleine](#)" et "[Saunier de Camargue](#)".
- Exploite, en France (en capacités annuelles de production) :
  - les marais salants méditerranéens : Salin de Giraud : 340 000 t/an, Aigues-Mortes : 250 000 t/an, Berre : 45 000 t/an.
  - du sel de Guérande avec la société Bourdic à Batz-sur-Mer et la marque "[Le Paludier](#)", avec 4 000 t/an.
  - la mine de sel gemme de St Nicolas-Varangéville : 525 000 t/an. Le sel produit est destiné, principalement, au déneigement. La production dépend donc des conditions climatiques.
  - du sel ignigène à Varangéville (560 000 t/an) et Dax (48 000 t/an).
- En Tunisie, exploitation par la société [Cotusal](#) de sites à Sousse (125 000 t/an), Sfax (300 000 t/an) et Zarzis (500 000 t/an). Ce sel est principalement destiné à l'exportation (800 000 t/an). La consommation locale est d'environ 100 000 t/an sous les marques "Le flamant" et "Le dauphin".
- Produit du sel pour le traitement de l'eau (adoucisseur, piscine, dénitracteur, lave-vaisselle) avec les marques "[Aqua](#)", "Neptune", "Dolce". Produit également du sulfate de magnésium avec une capacité de production de 6 000 t/an.

- Sa filiale [Rock](#), issue du regroupement, en 1999, des activités dans le sel de déneigement du groupe Salins, de la SCPA et des Mines de Potasse d'Alsace est chargée de la commercialisation du sel de déneigement.

[Esco](#) (European Salt Company, filiale du groupe K+S, Allemagne) :

- Société créée en 2002 par la mise en commun des activités dans le sel (hors sel destiné directement aux activités chimiques de Solvay) de K+S Aktiengesellschaft (Allemagne), 62 % des parts et Solvay (Belgique), 38 % des parts. En 2004, achat de la participation de Solvay par K+S.

- Marques : Sonnensalz (Allemagne), [Cérébos](#) (France, Benelux), Vatel (Portugal).

- Capacités de production européennes, en millions de t/an : sel gemme : 5,8, sel raffiné : 2,3, saumures : 1,7, avec 15 sites de production dans 6 pays européens : Bernburg, Grasleben, Borth, Standt (Allemagne), Harlingen (Pays-Bas), Jemeppe (Belgique), Torrelavega (Espagne), Povia, Alverca, Olhao (Portugal).

- En France, production à Dombasle (200 000 t/an).

- Possède, à Bernburg (Allemagne) dans d'ex-cavités de sel, des capacités de 86 000 t/an de stockage de gaz liquide.

- [Solvay](#) exploite du sel de dissolution à Dombasle (54) et Tavaux (39) afin d'alimenter sa production de carbonate de sodium et ses électrolyses de production de chlore-soude.

- [Vencorex](#) produit du sel de dissolution, à Hauterives (26), qui est autoconsommé, après transport par 84 km de saumoduc, à [Pont de Claix](#) (38).

- [Kem One](#) qui a repris, en juillet 2012, les activités dans ce secteur d'Arkema, produit du sel de dissolution (500 à 600 000 t/an) à Vauvert (30), pour alimenter les usines d'électrolyse de Fos-sur-Mer et Lavéra (13).

## **Lieux de production de sel, en France**

(Document du Comité des Salines de France)

### **UTILISATIONS :**

**Consommations** : en 2012, la consommation mondiale a été de 275 millions de t, l'Asie représentant 42,5 % de la consommation mondiale, dont 24 % pour la Chine, l'Europe 25 %, l'Amérique du Nord 22 %. En 2015, la consommation des Etats-Unis a été de 69,5 millions de t.

**Secteurs d'utilisation** : en milliers de t.

	France, en 2010	Japon, en 2015	États-Unis, en 2015
Industrie chimique	53 %	76 %	36 %
Déneigement	17 %	9 %	46 %
Industries diverses *	15 %	2 %	2 %

Consommation humaine	6 %	12 %	11 %
Traitement de l'eau *			1 %
Agriculture, élevage	9 %	1 %	3 %

\* en France, le traitement de l'eau est inclus dans les industries diverses

Dans les pays industrialisés, l'industrie chimique consomme environ 70 % de la production de sel. Aux États-Unis, en 2013, la consommation de l'industrie chimique a été de 18 millions de t dont 16,7 millions de t par la production de chlore et soude, approvisionnée à près de 90 % par du sel de dissolution.

Déneigement : une partie du sel compté en consommation humaine (ou agricole) sert au déneigement. La consommation de ce secteur varie énormément d'une année à l'autre. Dans l'Union européenne, la moyenne est de 4,5 millions de t/an (1,9 million de t en 1990, 5 millions de t en 1991). La dose employée est de 5 à 15 g/m<sup>2</sup> soit de 0,5 à 2,8 kg par mètre linéaire de chaussée et par an.

Le chlorure de sodium assure une protection jusqu'à -10°C, le chlorure de magnésium jusqu'à -15°C, le chlorure de calcium jusqu'à -20°C. D'autres fondants peuvent être utilisés, l'urée, les glycols, l'acétate de calcium et de magnésium, mais le chlorure de sodium reste largement majoritaire, il représente plus de 90 % de la consommation de sels de déneigement.

Alimentation humaine : en France, la consommation est, en 2009, de 359 000 t avec, en 2013, une part de 22 % pour les ménages et 78 % pour l'agro-alimentaire.

- L'ingestion totale quotidienne actuelle est de 7 à 8 g/personne (1 à 2 g naturellement présent dans les aliments, 3 à 4 g dans les aliments fabriqués industriellement, 2 g ajoutés à la cuisine ou sur la table).
- Le besoin minimum de l'organisme est de 6 g/jour/personne. La teneur en sel du sang est de 0,9 %.
- La teneur en sel du pain est de 12 g sel/kg de pain.
- La supplémentation en iodure de sodium (NaI) est réalisée depuis 1952 (15 à 20 mg de I<sup>-</sup>/kg) et en fluorure de potassium (KF) depuis 1985 (250 mg ± 15 % de F<sup>-</sup>/kg). Le sel iodé ou iodé-fluoré représentait, en 2013, en France, 35,9 % de la consommation des ménages en sel.

Pharmacie : les solutions physiologiques improprement appelées sérums physiologiques renferment 9 g/L de chlorure de sodium dissous dans de l'eau distillée.

Agriculture : utilisé dans l'alimentation du bétail (jusqu'à 80 g/j pour une vache laitière), comme dés herbant, engrais pour la culture des betteraves.

Industries diverses :

- Cuirs et peaux comme agent déshydratant.
- Textiles pour la fixation des bains de teinture.
- Régénération des résines échangeuses d'ions utilisées pour l'adoucissement de l'eau.

Industries chimiques :

- Production de [Cl<sub>2</sub>-NaOH](#) par électrolyse (voir ces chapitres) : le sel cristallisé alimente les électrolyses à cathode de mercure et à membrane, le sel de dissolution alimente les électrolyses à diaphragme.
- Production de [carbonate de sodium](#) utilisé dans les industries du [verre](#), du papier, des corps gras qui emploient du sel de dissolution.
- Production de [sulfate de sodium](#) destiné à la fabrication de détergents, du verre, du papier kraft.