

## CHLORURE DE SODIUM 2011

### 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 Etats-Unis, les réserves de sel gemme sont estimées à plus de  $55.10^{12}$  t. Les lacs salés sont également exploités, industriellement aux Etats-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) :

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

### 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** : voir les [animations proposées par le groupe Salins](#).

**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 est pompée avec un débit de 10 à 15 m<sup>3</sup> par seconde parcourt un circuit de 70 à 100 km. Le volume de saumures contenu est d'environ 35 millions de m<sup>3</sup>. Une [énergie solaire](#) gratuite de 2 millions de t équivalent-pétrole est 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 500 000 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. Initialement extrait sous forme de saumure, l'exploitation minière a débuté seulement en 1959.

- 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](#)).

**PRODUCTIONS** (sel cristallisé et de dissolution) : en 2011, en milliers de t. Monde : 290 000, Union européenne (2011) : 50 473.

Chine	65 000	Pakistan	11 000
-------	--------	----------	--------

Etats-Unis	44 000	Bahamas	10 000
Allemagne	20 000	Chili	9 000
Inde	18 000	Mexique	8 800
Australie	13 000	Brésil	7 000
Canada	11 000	France	6 000

Source : USGS

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

Aux [Etats-Unis](#), en 2011, 44 % de la production est sous forme de sel gemme, 38 % de saumures, 10 % de sel ignigène, 8 % de sel de mer. Cette activité emploie 4 100 personnes. La production est assurée, en 2010, à 32 % par la Louisiane, 21 % le Texas, 15 % l'état de New York...

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 consommation 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 % des plus grands marais salants au monde.

### **Commerce mondial :**

Les ressources en sel sont bien réparties et abondantes sauf au Japon (production : 1,2 million de t/an, consommation : 9,3 millions de t/an, sel 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 15 % de la production de sel cristallisé.

Les Etats-Unis ont importé, en 2010, 12,9 millions de t provenant du Chili à 39 %, du Canada à 33 %, du Mexique à 8 %.

Principaux pays exportateurs : Australie, Bahamas, Chili, Mexique, Chine.

### **Principaux producteurs mondiaux : en 2011.**

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 employés dans les activités salines sont au nombre de 5 230 avec des capacités mondiales de 30 millions de t/an :

- 13 millions de t/an avec sa filiale Morton aux Etats-Unis, Canada et Bahamas dans 6 mines, 7 salins et 10 unités de production de sel ignigène.
- 6,5 millions de t/an, devant être portées à 8 millions de t/an fin 2012, au Chili dans la mine de Salar Grande de Tarapaca et 0,45 millions de t/an dans un salin au Brésil avec sa filiale SPL.
- 8 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, 2 exploitations de saumure et plusieurs exploitations de sel ignigène.

Avec des capacités de 16,3 millions de t/an, [Compass Minerals](#) exploite des mines à Goderich, Ontario au Canada (9 millions de t/an), Cote Blanche, Louisiane, aux Etats-Unis (3,4 millions de t/an), Winsford, Cheshire au Royaume Uni (1,5 millions de t/an), ainsi que des salins et du sel

ignigène aux Etats-Unis et au Canada avec ses filiales : [North American Salt Company](#), [Sifto](#) au Canada et [Salt Union](#) au Royaume Uni.

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

En Europe (en millions de t/an de capacités de production, en 2010) : [Esco](#) : 9,7, [Akzo Nobel](#) (à Delfzijl et Hengelo aux Pays-Bas avec 5 millions de t/an et Mariager au Danemark) : 6,0, [SüdSalz](#) (Allemagne) : 5,0, [Salins](#) (France, Espagne) : 3,7, [Italkali](#) (Italie) : 1,7, [Salt Union](#) (Royaume-Uni, filiale de Compass Minerals) : 1,5, [British Salt](#) (Royaume Uni, propriété depuis décembre 2010 de [Tata Chemicals](#)) : 0,8.

**SITUATION FRANCAISE** : en 2010.

- Production de sel cristallisé (sel marin, ignigène et sel gemme) : 2 600 000 t.
- Production de sel de dissolution : 3 300 000 t.
- La production de sel gemme provient totalement 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.
- La production ignigène provenait, en 2006, à 54 % de Lorraine, 39 % de Franche Comté et 6 % du Sud-Ouest.
- Importations, en 2011 : 1 599 390 t (Espagne : 40 %, Allemagne : 14 %, Italie : 8 %, Pays Bas : 8 %, Maroc : 7 %).
- Exportations, en 2011 : 183 850 t (Allemagne : 28 %, Autriche : 15 %, Belgique : 12 %, Luxembourg : 10 %, Italie : 9 %).

### **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 : 18 000 t en 2006 (aux 3/4 dans la presqu'île de Guérande (44)).

Exploitations salinières méridionales (capacités annuelles de production) :

	Capacité
Salin de Giraud	340 000 t
Aigues-Mortes	250 000 t
Berre	45 000 t

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](#) pour GDF Suez. 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'Étrez (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 Rhodia), société productrice, à l'époque, de chlore. Le creusement a été effectué entre 1969 et 1984.

**Principaux producteurs français** : en 2011.

#### Salins :

- Capacités de production : 3,7 millions t de sel (2,3 millions de t de sel de mer, 800 000 t de sel igné et 600 000 t de sel gemme) dont 1,8 million de t en France. Productions également en Espagne (1 million de t) avec la filiale Salins Iberica à Torrevieja, Almeria, Cadix et Bonmati, Tunisie (750 000 t) avec la filiale Cutusal et Sénégal avec le salins à Kaolack. 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, Aigues-Mortes : 250 000 t, Berre : 45 000 t.
  - du sel de Guérande avec la société Bourdic à Batz-sur-Mer et la marque "[Le Paludier](#)".
  - la mine de sel gemme de St Nicolas-Varangéville : 500 000 t. Le sel produit est destiné, principalement, au déneigement. La production dépend donc des conditions climatiques.
  - du sel ignigène à Varangéville (625 000 t) et Dax (50 000 t).
- En Tunisie, exploitation par la société Cotusal de sites à Sousse (125 000 t/an), Sfax (330 000 t/an) et Zarzis (300 000 t/an). Ce sel est principalement destiné à l'exportation (600 000 t/an). La consommation locale est de 70 000 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. N°1 mondial après les acquisitions de la société chilienne [Sociedad Punta de Lobos](#) (SPL) en 2006 et de la société nord américaine [Morton](#) en octobre 2009.

- 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, 120 personnes) et Bayonne (60 000 t/an, 70 personnes).
- 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 et Tavaux afin d'alimenter ses électrolyses de production de chlore-soude..
- [Perstorp](#) (groupe suédois) produit du sel de dissolution, à Hauterives (26), qui est autoconsommé, après transport par 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).

## **UTILISATIONS :**

**Consommations de sel par secteurs d'utilisation** : en 2010, en milliers de t.

Consommation (en milliers de t)	France	Etats-Unis
Industrie chimique	4 310	20 200
Déneigement	1 386	18 700
Industries diverses *	1 197	931
Consommation humaine	520	1 760
Traitement de l'eau *		931
Agriculture	720	1 840
<b>Total</b>	<b>8 100</b>	<b>48 600</b>

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

Dans les pays industrialisés, l'industrie chimique consomme environ 70 % de la production de sel. Aux Etats-Unis, en 2010, la consommation de l'industrie chimique a été de 20,2 millions de t dont 19,1 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'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 une part de 25 % pour les ménages et 75 % 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 2010, en France, 31,7 % de la consommation des ménages en sel.

Agriculture : utilisé dans l'alimentation du bétail (jusqu'à 80 g/j pour une vache laitière), comme désherbant, 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. En 2003 la consommation de sel destiné au traitement de l'eau a été de 252 000 t, en France. En France les ventes d'adoucisseurs sont d'environ 120 000 appareils par an.

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 papier kraft.