



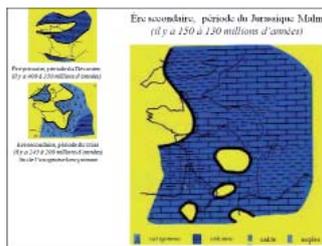
Il y a entre 245 et 200 millions d'années, au trias, le massif se soulève à l'ouest. Il s'en suit à l'est un retrait partiel de la mer et une diminution de profondeur de la mer Germanique qui n'est plus que de quelques dizaines de mètres.



Un climat chaud provoque une forte évaporation de l'eau. Progressivement, les nappes d'eau se rétrécissent et finissent par disparaître. C'est ainsi, qu'entre autres, le sel gemme s'est déposé en couches épaisses.

L'alternance de périodes humides et de périodes chaudes et sèches a provoqué de nombreux et importants dépôts de sels. Il y a environ 190 millions d'années, le climat redevient sec. La mer Germanique s'évapore de nouveau et dépose ainsi de nouvelles couches.

Avant de revenir en Lorraine, continuons notre excursion dans le temps.



Un tout petit peu proche de nous, entre 150 et 130 millions d'années, au jurassique, la mer revient et les dépôts sont recouverts de couches sédimentaires.

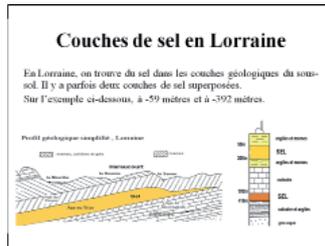


Il y a entre 35 et 25 millions d'années, la mer se retire à nouveau et la faible profondeur produit des *éaporites*, c'est-à-dire des *roches salines*, dans la région du midi.



Tout ce qui précède justifie la présence très importante de sels dans l'Est. C'est du chlorure de sodium en Lorraine, alors qu'en Alsace, c'est le chlorure de potassium qui est abondant. Il faut préciser que ces deux sels ne datent pas de la même époque. Le chlorure

de sodium lorrain s'est déposé au trias, il y a plus de 200 millions d'années, alors que le chlorure de potassium alsacien n'a qu'environ 32 millions d'années.



En Lorraine, les gîtes salifères se trouvent à l'emplacement de l'ancienne mer Germanique et s'étendent jusqu'à Sézane. L'alternance entre les périodes humides et sèches expliquent la superposition de couches de sel et d'argile.

Il reste maintenant à extraire le sel du sous-sol ou des mers.

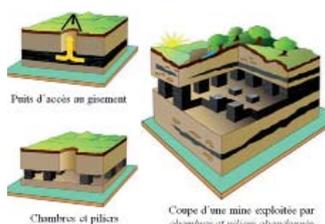
Dans le cas de l'extraction du sous-sol, deux techniques peuvent être employées : soit par voie minière, soit par un procédé ignigène.

L'extraction minière du sel a été utilisée depuis longtemps. Le principe en est très simple : on creuse un puits jusqu'à la couche de sel et on exploite celle-ci. Aujourd'hui, ce type d'exploitation n'est rentable que dans la mesure où le gisement est suffisamment riche pour être mécanisé.

En France, il n'y a plus qu'une seule mine de sel en activité, celle de Varangéville. Son puits principal permet de descendre à 160 mètres et d'exploiter la onzième couche de sel qui a une richesse de 20 mètres. La teneur moyenne en chlorure de sodium avoisine les 94%. Le gisement s'étend sur 12 000 km<sup>2</sup> et ses réserves sont estimées à mille milliards de tonnes. La capacité de production annuelle est de 550 000 tonnes.

Voyons rapidement la technique utilisée.

L'accès au gisement de sel se fait par un puits qui conduit à un réseau de galeries parallèles et perpendiculaires dans lesquelles peuvent circuler des mastodontes. Ceux-ci sont tellement gros qu'il est nécessaire de les démonter ou de les découper pour les descendre dans la mine où ils seront reconstitués. Il faut cependant préciser que si l'on fore des puits dont la section est la plus petite possible, mais encore suffisante pour assurer l'exploitation de la mine, c'est pour diminuer au maximum les infiltrations d'eau en provenance des nappes phréatiques traversées. D'ailleurs, si cela n'avait pas été le cas, on aurait remplacé le puits par une descenderie, compte tenu de la faible profondeur du gisement.



La technique d'exploitation est celle des chambres et piliers abandonnés, la même que celle utilisée dans les mines de fer. Elle consiste à laisser en place des piliers de sel régulièrement espacés et aux dimensions calculées afin de soutenir le plafond. Ainsi, les terrains situés au-dessus de la mine demeurent stables. De plus, le toit des galeries est boulonné au terrain situé au-dessus. On évite ainsi un soutènement coûteux par étaçonnage.



L'abattage du minerai se fait à l'aide d'explosifs, par des tirs de mines horizontales, en avançant sur plusieurs fronts et en formant des vides, les chambres, et en laissant les piliers de minerai pour éviter au toit de s'effondrer. Des boulons d'ancrage augmentent la résistance des piliers. Les chambres servent ensuite de voies de roulage pour le transport par camions du minerai. À Varangéville, une galerie principale, large de 13 mètres et haute de 4,50 mètres, est affectée au convoyage du minerai. Les piliers abandonnés font 29 mètres de côté.

Ces travaux nécessitent un matériel très spécialisé.



Pour préparer les tirs, on utilise un jumbo de foration. Il permet de percer des trous de 4,50 mètres de profondeur sur un diamètre de 4 centimètres pour placer l'explosif. Il en faut 42 par tir. Chaque tir permet un abattage de 500 à 600 tonnes de sel.



Après que le minerai aura été ôté, une haveuse avec un front de taille de 4,30 mètres améliorera la planéité du sol.

Le sel est dirigé vers une station de broyage et de criblage pour être soit stocké dans un silo souterrain, soit remonté au jour.

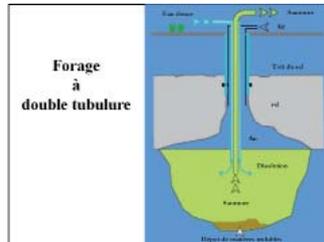
Il est à remarquer que le sel ainsi produit à Varangéville est plein d'impuretés. Il est directement utilisable pour le salage des routes, pour des blocs à lécher destinés au bétail et, sous forme de granulats, pour les industries des cuirs et peaux.

Pour la consommation ou son emploi dans l'industrie, il nécessite un raffinage.

Aujourd'hui, en France, à l'exception de la mine de Varangéville, les gisements de sel gemme ne sont plus exploités par des méthodes minières, mais par des méthodes de sondages. Celles-ci autorisent des exploitations à grande profondeur pouvant atteindre mille à deux mille mètres qui restent économiquement encore rentables.

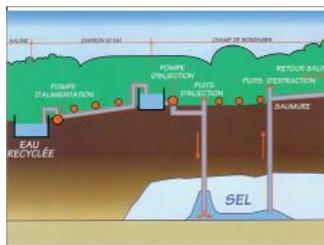
Leur principe en est simple : on réalise un forage par lequel on injecte de l'eau douce dans la couche de sel. Ce dernier se dissout dans l'eau injectée et il ne reste plus qu'à pomper ensuite la saumure ainsi obtenue qui est saturée à environ 300 grammes par litre. Celle-ci peut être ensuite canalisée vers une usine de traitement non nécessairement située sur le site de forage.

Cette technique admet des variantes.

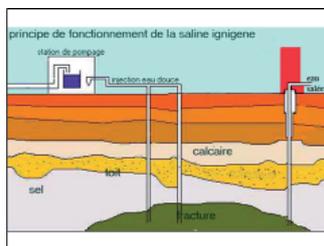


Une première technique est celle des *sondages en pistes*. Elle consiste à introduire dans les forages un double tubage permettant d'injecter de l'eau douce et de soutirer la saumure. Il se crée ainsi une cavité de dissolution au niveau du forage.

On réalise des pistes de forage. Elles consistent en un ensemble de vingt à trente sondages, espacés d'environ cinquante mètres et disposés suivant la ligne de plus grande pente du gisement. On injecte de l'eau dans chacun d'eux jusqu'à ce que les chambres de dissolution communiquent.

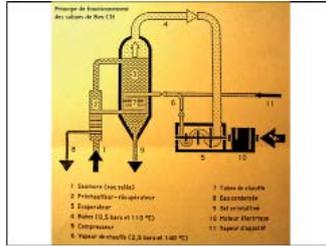


L'exploitation sur l'ensemble de la piste ainsi formée, s'effectue en injectant l'eau douce dans le puits amont et en soutirant la saumure par le puits aval. Il se produit ainsi un lessivage complet du gisement permettant une exploitation quasi totale. Son défaut est d'entraîner l'effondrement du toit de ces cavités et donc la formation de cratères au niveau du sol.

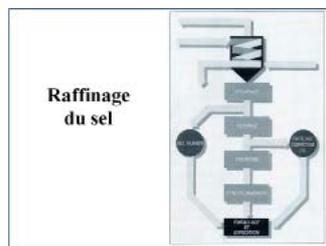


Une seconde technique est l'*hydrofracturation* que pratique la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est. Elle consiste à faire plusieurs forages jusqu'à la base du gisement et à y injecter de l'eau sous forte pression pour créer des fracturations horizontales qui vont faire communiquer les puits. Celle-ci étant établie, on fait circuler de l'eau à basse pression entre un puits d'injection et un de pompage. À la différence de la méthode des *sondages en pistes*, cette technique permet de créer des cavités de formes prédéfinies et,

en contrôlant les injections d'eau, de conserver des piliers évitant ainsi l'effondrement des terrains. Cela ne supprime cependant pas complètement les importants affaissements qui sont visibles dans la région de Saint-Nicolas de Port.



Pour en terminer avec ces techniques d'exploitation de gisements salin, je rappellerai qu'à la différence des marais salants, la récupération du sel des saumures se fait actuellement en chauffant celles-ci, souvent sous vide. On parle alors de *sel ignigène*.



À sa sortie des évaporateurs, le *brouet* de sel est essoré par centrifugation, séché, tamisé et conditionné.

Il peut cependant arriver, c'est le cas des exploitations des salinières du Midi, que la saumure pompée soit répandue sur un sol argileux imperméable et que l'on utilise l'évaporation due au soleil pour récupérer le sel.



Dans les marais salants, c'est la mer qui fournit une saumure, évidemment moins concentrée en sel que celles issues de pompages ! L'eau de mer est introduite dans des bassins à marée haute. Le sable sédimente. La chaleur du soleil fait évaporer l'eau et progressivement, le sel se dépose sur le fond du bassin. En le raclant, on récolte au plus 28 grammes de sel par litre d'eau de mer.



Une variété commerciale du sel est la *fleur de sel*. Elle correspond à la mince couche de cristaux qui se forme à la surface des marais salants, généralement due à l'action évaporatrice du vent. Elle est récoltée manuellement et quotidiennement à l'aide d'une

louche puis égouttée et séchée au soleil pendant une année environ. Cela explique son coût plus élevé que celui du sel ordinaire, mais aussi ses qualités gustatives particulières.

**Production de sel dans le monde**

(en millions de tonnes, y compris le sel des saumures)

Total : 208,0



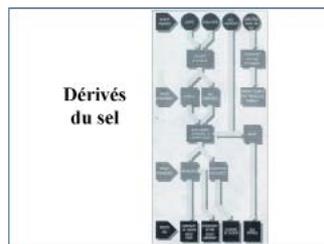
- Etats-Unis : 46,5
- Chine : 37,1
- Allemagne : 16,0
- Indes : 15,0
- Canada : 14,1
- Australie : 11,2
- Mexique : 8,2
- France : 7,0

La production mondiale annuelle est de 208,0 millions de tonnes, dont 7,0 pour la France.

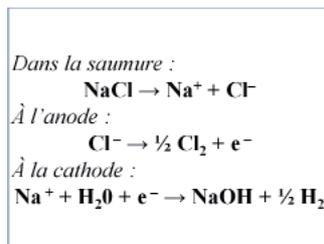
Il est évident que le sel n'est pas uniquement utilisé dans l'alimentation.

Déjà, le sel gemme qui est obtenu par exploitation minière et qui est donc plein d'impuretés argileuses, sert au salage des routes en hiver.

Quant au sel utilisé dans l'industrie, il est essentiellement obtenu à partir de sel gemme exploité par des techniques de sondage et raffiné. On l'utilise dans la fabrication du papier, le réglage de la teinte des textiles et des tissus, la production de savons et détergents, les adoucisseurs d'eau...

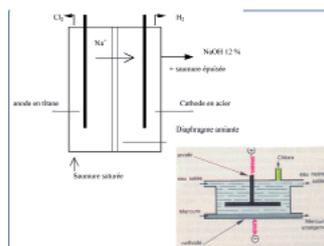


Parmi les produits dérivés du chlorure de sodium, je citerai le chlore, le sodium et le carbonate de sodium.



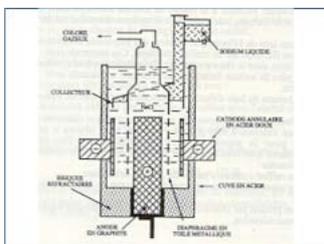
Le chlore est obtenu par électrolyse d'une solution aqueuse de chlorure de sodium.

Dans la cellule d'électrolyse, on trouve des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  correspondant à l'ionisation totale du chlorure de sodium, et des ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{H}^+$  provenant à l'ionisation partielle de l'eau.



Lors de l'électrolyse, il se dégage du chlore gazeux à l'anode et de l'hydrogène gazeux à la cathode. L'électrolyte s'appauvrit ainsi en ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{H}^+$ , entraînant une augmentation relative des couples d'ions  $\text{OH}^-$  et  $\text{Na}^+$ , donc de soude

Pour éviter l'électrolyse de l'eau, plusieurs procédés sont utilisés. Par exemple, on sépare les deux électrodes à l'aide d'une membrane confinant les ions chlorure dans le bain anodique ou encore en utilisant une cathode de mercure.



Le sodium s'obtient également par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium, mais avec d'autres dispositifs.

La cellule *Down*, généralement utilisée, est constituée d'anodes en graphite, de cathodes annulaires en acier entourant les anodes et de diaphragmes en toiles métalliques situés entre les électrodes pour empêcher la recombinaison du sodium et du chlore. Le sodium et le chlore sont collectés séparément.

Compte tenu de la proximité de Varangéville, je me dois de détailler le procédé Solvay permettant de synthétiser du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), produit nécessaire aux industries du verre, du savon, des textiles et du papier.

Le carbonate de sodium se trouve à l'état naturel dans le natron, minéral abondant en Égypte notamment, mais inexistant en Europe.

En France, dès le Moyen-Âge, on en a produit en brûlant des algues (varech ou goémon en Bretagne) ou des plantes salées (salicorne en Méditerranée). Ce procédé n'a été définitivement abandonné que vers 1950.

**Procédé Leblanc**

*Chauffage du chlorure de sodium avec de l'acide sulfurique : produit du sulfate de sodium et de l'acide chlorhydrique gazeux :*

$$2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HCl}$$

*Cuisson du mélange de sulfate de sodium, de calcaire (carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ ) et de charbon (C). Obtention d'un mélange solide de carbonate de sodium et de sulfure de calcium.*

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaS} + 2 \text{CO}_2$$

*Le carbonate de sodium est récupéré par lavage à l'eau puis évaporation de l'eau.*

Le procédé Leblanc a été élaboré au moment de la Révolution française. Il correspond aux étapes suivantes :

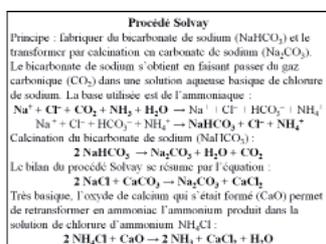
- Le sel ( $\text{NaCl}$ ) est chauffé avec de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pour produire du sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) et de l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) gazeux selon l'équation suivante :  

$$2 \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HCl}$$
- On cuit un mélange constitué du sulfate de sodium obtenu, de calcaire (carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ ) et de charbon (ou carbone C). On obtient un mélange solide de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) et de sulfure de calcium (CaS). L'équation est :  

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + 2 \text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaS} + 2 \text{CO}_2$$
- Le carbonate de sodium étant soluble dans l'eau, on le récupère par lavage à l'eau puis évaporation de celle-ci.

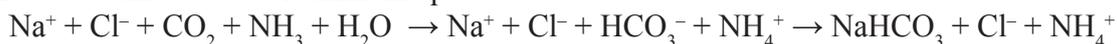
En plus d'être un grand consommateur d'énergie, ce procédé est très polluant du fait de la production d'acide chlorhydrique gazeux.

À partir de 1870, le procédé Leblanc est remplacé par le procédé Solvay, moins polluant et moins énergétivore. Actuellement, son seul concurrent est l'extraction du carbonate de sodium dans les gisements de natron, que l'on trouve principalement en Égypte et en Amérique du Nord.



Le principe du procédé Solvay est de fabriquer du bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) et de le transformer par calcination en carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

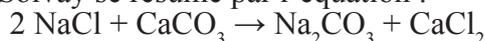
Le bicarbonate de sodium s'obtient en faisant passer du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) dans une solution aqueuse basique de chlorure de sodium : en milieu basique le gaz carbonique se transforme en ion bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) qui précipite en présence de l'ion sodium (Na<sup>+</sup>). La base utilisée est de l'ammoniaque :



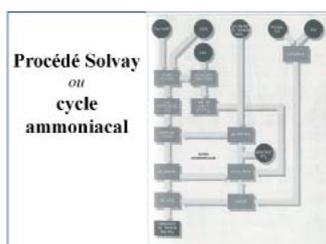
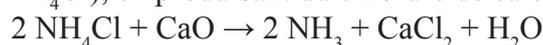
La calcination du bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) qui se fait à 100°C, donne le carbonate de sodium :



Le bilan du procédé Solvay se résume par l'équation :



Il est à signaler que, très basique, l'oxyde de calcium qui s'était formé (CaO) permet de retransformer en ammoniac l'ammonium (produit intermédiaire dans la solution de chlorure d'ammonium NH<sub>4</sub>Cl), en produisant du chlorure de calcium :



Le procédé Solvay est moins coûteux et moins polluant que le procédé Leblanc. En effet, du fait de leur abondance, le sel et le calcaire sont peu coûteux. Quant aux ions ammonium qui se forment durant le processus, ils sont recyclés pendant la réaction et le chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>), sous-produit du procédé, n'est pas un déchet mais un produit utile, compte tenu de ses propriétés hygroscopiques. Il a d'ailleurs de nombreuses autres applications. À titre d'exemples, pour son goût amer et sa faculté d'augmenter la dureté cellulaire d'aliments, il est ajouté dans les bocaux de cornichons, d'olives... Du fait de la chaleur émise accompagnant sa dissolution dans de l'eau, il peut servir à faire fondre de la glace. Au contraire du chlorure de sodium, il n'est pas nocif pour le sol et les plantes, tout en pouvant agir à des températures plus basses que le chlorure de sodium.

Si la première grande soudière mondiale a été créée à Dombasle par Ernest Solvay, c'est parce que la Belgique ne disposait pas de ressources suffisantes en sel. La richesse de la Lorraine en sel a entraîné la création d'autres soudières à La Madeleine (1883), à Sarralbe (1885), à Varangéville (1893)...

