

Ministère de l'Industrie,  
des Postes et Télécommunications  
et du Commerce extérieur

## Mémento roches et minéraux industriels

### *Gypse et anhydrite*

---

Juin 1993  
R 37722



Étude réalisée dans le cadre des  
actions de Service public du BRGM



Ministère de l'Industrie,  
des Postes et Télécommunications  
et du Commerce extérieur

## Mémento roches et minéraux industriels

### *Gypse et anhydrite*

---

**P. Marteau**

**Juin 1993  
R 37722**



Étude réalisée dans le cadre des  
actions de Service public du BRGM

**BRGM**  
**Service Géologique National**  
**Département Géologie**  
B.P. 6009 - 45060 - ORLEANS CEDEX 2 - FRANCE  
Tél.: (33) 38.64.34.34

## RESUME

Le gypse, ou "pierre à plâtre", sulfate de calcium hydraté de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , et l'anhydrite, forme anhydre  $\text{CaSO}_4$ , sont des minéraux fréquents dans certaines formations géologiques. Gypse et anhydrite forment des couches parfois très épaisses, stratiformes et régulières ou lenticulaires, présentes dans la plupart des grands bassins sédimentaires des cinq continents. Ces couches sont généralement très déformées par la tectonique quand elles sont en bordure des chaînes de montagnes ou intégrées dans celles-ci.

Exploités depuis l'antiquité sur le pourtour méditerranéen pour la construction ou l'art et la décoration, ces produits minéraux naturels ont actuellement de nombreuses utilisations industrielles dans le monde entier.

Les principaux producteurs se trouvent en Amérique du Nord, en Europe de l'Ouest et dans certains pays d'Asie, la production mondiale comptabilisée dépassant cent millions de tonnes par an. La France est le plus grand producteur européen avec plus de six millions de tonnes de gypse et d'anhydrite extraits chaque année, mais sa position sur le plan mondial a rétrogradé de la deuxième à la sixième place depuis 1980. Elle est également un exportateur important, principalement vers le Bénélux, l'Allemagne et les pays nordiques, avec plus de un million de tonnes de gypse et de plâtres par an.

Les gisements français les plus exploités sont ceux du Bassin parisien, d'âge tertiaire, fournissant plus des deux tiers de la production nationale. Bien que très importants, ils sont en grande partie stérilisés par l'urbanisation de l'agglomération parisienne. Les gisements de l'Est et du Sud de la France, d'âge triasique et tertiaire principalement, fournissent le reste de la production. Les réserves techniquement exploitables sont très élevées, suffisantes pour plus de 200 ans au rythme de consommation actuel, mais les contraintes administratives limitent sérieusement cette durée prévisionnelle.

L'exploitation du gypse se fait généralement par gradins en carrières à ciel ouvert, après décapage des terrains de recouvrement, plus rarement en galeries quand les contraintes géologiques ou environnementales ne permettent pas l'ouverture de carrières. L'anhydrite est exploitée en galeries, car on ne la trouve qu'à partir d'une certaine profondeur.

Le gypse peut être utilisé cru, sous forme broyée plus ou moins finement, comme adjuvant aux ciments, en agriculture pour l'amendement, et quand il est pur comme charge minérale et comme matière première pour la chimie. Ces secteurs représentent environ 20 % de la consommation totale.

Cependant, la plus grande partie de la production est destinée à l'élaboration des différentes sortes de plâtre, par cuisson à des températures plus ou moins élevées. Sur les 3,3 millions de tonnes de plâtres ainsi obtenus en 1991, pratiquement les deux tiers ont été destinés à la préfabrication de carreaux et de plaques, largement employés dans la construction moderne pour leurs qualités d'isolation phonique et thermique et de régulation hygrométrique. L'autre partie est utilisée pour les enduits, manuels ou projetés, et pour la fabrication de moules dans l'industrie.

La production de gypse et de plâtre est une activité importante dans l'industrie extractive en France. Les trois principales sociétés de dimension internationale qui représentent plus de 95 % de la production, emploient un effectif assez réduit, environ 3600 personnes, pour un chiffre d'affaires de 3,8 milliards de francs en 1991. L'ensemble des activités liées à la production et à l'utilisation du gypse et du plâtre procure du travail à près de 80 000 personnes.

Les produits de substitution, comme le gypse résiduaire ou de synthèse, ne sont pas actuellement compétitifs en France sur le plan économique, et leur utilisation pour la production de plâtre pose de nombreux problèmes techniques.

Le marché du plâtre naturel a donc devant lui un avenir assuré, bien qu'il soit lié surtout au secteur du bâtiment et aux fluctuations que celui-ci connaît. D'autres domaines comme celui des charges minérales sont susceptibles de se développer, mais leur part restera toujours relativement faible.

## TABLE DES MATIERES

1 - GENERALITES ET DEFINITIONS.....	7
2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS.....	8
2.1 - Minéralogie, caractéristiques physiques et chimiques.....	8
2.2 - Genèse.....	8
2.3 - Gisements français.....	9
2.4 - Gisements dans le monde.....	14
2.5 - Mode d'exploitation et de traitements, critères de sélection.....	14
3 - SECTEURS D'UTILISATION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES.....	17
3.1 - Secteurs d'utilisation.....	17
3.1.1 - Fabrication des plâtres.....	17
3.1.2 - Industrie cimentière.....	20
3.1.3 - Liants et produits d'anhydrite.....	20
3.1.4 - Industries chimiques.....	21
3.1.5 - Charges minérales.....	21
3.1.6 - Agriculture et engrais.....	22
3.1.7 - Industries alimentaires.....	22
3.1.8 - Décoration et urbanisme.....	22
3.1.9 - Autres secteurs d'utilisation.....	22
3.2 - Spécifications industrielles.....	23
3.2.1 - Plâtres.....	23
3.2.2 - Ciments.....	24
3.2.3 - Chimie et produits pour charge.....	24
3.2.4 - Agriculture et engrais.....	24
3.2.5 - Alimentation et pharmacie.....	24
3.2.6 - Autres utilisations.....	24
4 - ECONOMIE ET MARCHE.....	25
4.1 - Production française et échanges commerciaux.....	25
4.2 - Place du gypse et de l'anhydrite dans l'industrie extractive française. Répartition de la production.....	27
4.3 - Structure industrielle des producteurs français de gypse et plâtre et d'anhydrite. Prix de vente.....	29
4.4 - Données sur la production mondiale.....	31

5 - PRODUITS DE SUBSTITUTION.....	32
5.1 - Les gypses résiduaire et de synthèse.....	32
5.2 - Autres produits minéraux .....	33
6 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	34

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 - Localisation des gisements de gypse et d'anhydrite en exploitation en France et niveau de production annuelle (1991)

Figure 2 - Exploitation à ciel ouvert de Mazan (Vaucluse) et cristal de gypse provenant du gisement

Figure 3 - Schémas de fabrication du plâtre et des carreaux et plaques de plâtre

Figure 4 - Evolution des marchés et des technologies du plâtre de construction en France

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 - Les différentes phases du système  $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  et leurs caractéristiques physico-chimiques

Tableau 2 - Production et échanges commerciaux de gypse et d'anhydrite en France depuis 1985

Tableau 3 - Répartition de la production française de gypse par régions en 1992

Tableau 4 - Carrières de gypse et d'anhydrite en exploitation en France

Tableau 5 - Sociétés françaises membres du Syndicat National des Industries du Plâtre



## 1 - GENERALITES ET DEFINITIONS

Le gypse et l'anhydrite sont des sulfates de calcium de formule chimique, à l'état pur :

gypse:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (CaO : 32,6%,  $\text{SO}_3$  : 46,5%,  $\text{H}_2\text{O}$  : 20,9%)

anhydrite:  $\text{CaSO}_4$  (CaO : 41,2%,  $\text{SO}_3$  : 58,8%)

Ces minéraux, fréquemment associées, sont communs dans la nature, surtout dans les formations géologiques sédimentaires. Ils ont des présentations de formes, de structures, de cristallisations et de couleurs très variables, selon leurs conditions de genèse et les impuretés qu'ils contiennent.

Connus dès l'antiquité dans le Bassin méditerranéen, l'anhydrite et surtout le gypse ont été exploités par l'homme pour la fabrication de plâtre, à des fins décoratives et pour la construction, dont celle des pyramides en Egypte et de temples en Grèce. L'albâtre, forme microcristalline du gypse, a été également employé pour sculpter des objets d'art et des statues. En France le gypse a été utilisé dès l'époque romaine, puis assez constamment par la suite, parfois pour des usages très spéciaux, comme par exemple le moulage en série de sarcophages au temps des mérovingiens !

Le plâtre courant est obtenu en fours par calcination et déshydratation plus ou moins poussée du gypse à faible température, donnant des semi-hydrates ou de l'anhydrite, puis par broyage, mélange et conditionnement selon les utilisations. Le gypse pur de haute qualité peut être broyé finement pour servir de matière première en chimie, ou de charge minérale dans de nombreuses industries.

La France possède des réserves géologiques très importantes en gypse et anhydrite, qui sont exploitées de façon intensive depuis plusieurs siècles, surtout en Provence et région parisienne. Le sous sol de la capitale est ainsi creusé de nombreuses cavités d'où était extrait le gypse nécessaire à la construction, ce qui crée parfois de graves désordres géotechniques.

Notre pays est actuellement l'un des premiers producteurs, consommateurs et exportateurs de gypse naturel. La production et la transformation du gypse sont réalisées en grande partie par des groupes de dimension internationale. Le gypse de synthèse, sous-produit de diverses industries, a un rôle important dans certains pays, mais n'est qu'évoqué dans cet ouvrage.

La production nationale est principalement destinée à la fabrication du plâtre et des produits manufacturés à base de plâtre, comme les carreaux et les plaques, utilisés dans la construction. Les autres emplois, bien qu'ils ne représentent qu'environ 20 % du tonnage, sont nombreux et variés: ajout dans les ciments, matière première dans l'industrie chimique, charge en papeterie, peintures, plastiques, alimentation et pharmacie, enfin matériau pour l'art et la décoration.

Une part importante de la production de gypse et de plâtres est exportée, essentiellement vers les pays européens, dont certains sont également nos fournisseurs.

## 2 - GEOLOGIE ET GISEMENTS

### 2.1 - MINERALOGIE, CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Le gypse et l'anhydrite d'origine sédimentaire sont des roches salines de la famille des évaporites. Ils se forment également en milieu hydrothermal, ou comme produits de l'oxydation de sulfures, mais en plus faibles quantités que dans les dépôts sédimentaires.

Le gypse est un minéral tendre dans l'échelle de Mohs, qui compte 10 degrés (dureté 1,5 à 2 selon la face cristalline), et il est soluble dans l'eau (1,75 g/l à 0°C, 2,1 g/l à 38°C et 1,69 g/l à 100°C, avec augmentation de solubilité dans l'eau salée). Sa couleur est très variable, blanc, beige, gris, jaune, rouge etc. selon les impuretés.

Il se présente sous forme cristalline en variétés compactes grenues (gypse saccharoïde) ou fines (albâtre), en grands cristaux prismatiques ("fer de lance" ou "pied d'alouette"), en cristaux lamellaires ou fibreux, ou encore il est amorphe. La densité du minéral est de 2,31 à 2,33. L'anhydrite, de dureté 3,5 et de densité 2,9, est rarement en cristaux, d'aspect cuboïde, mais plutôt en agrégats grenus ou fibreux. La densité de ces sulfates de calcium varie, en roche, selon le mode de cristallisation et la teneur en impuretés, de 1900 à 2850 kg/m<sup>3</sup>.

Gypse et anhydrite sont inertes chimiquement quand ils sont purs, mais se dissolvent légèrement au chauffage dans les acides. Ils ont un bon pouvoir absorbant sous forme broyée.

### 2.2 - GENESE

Les processus de formation des gisements sédimentaires de gypse et d'anhydrite sont complexes et il n'existe pas de théorie globale de leur genèse, car chaque cas est particulier, tout phénomène naturel dépendant de conditions locales spécifiques et variables.

L'hypothèse génétique la plus fréquemment admise est celle d'une précipitation directe à partir de saumures saturées, par évaporation en climat chaud et sec, dans des bassins étendus et peu profonds de type lagune, en communication temporaire avec la mer. Ce modèle explique aussi la présence dans de nombreux gisements d'autres minéraux évaporitiques comme les chlorures (NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>), ainsi que de carbonates (aragonite, calcite, dolomite), et d'autres sulfates (céléstite).

En plus des minéraux qui viennent d'être cités, peuvent aussi se déposer avec le gypse du sable, des argiles, de la silice, des oxydes etc.

Selon la température et la concentration des autres sels contenus dans la saumure, le sulfate de calcium précipite généralement, d'abord sous forme de di-hydrate (gypse), puis sous forme anhydre (anhydrite).

Après leur dépôt, les sulfates initialement accumulés peuvent subir diverses modifications diagénétiques, telles que :

- déshydratation du gypse, avec forte réduction de volume,
- réhydratation de l'anhydrite, ce qui provoque une forte augmentation de volume, et des perturbations importantes des couches de roches sédimentaires encaissantes,
- échanges cationiques et pseudomorphoses ou remplacements minéralogiques.

Sa solubilité étant élevée, le gypse peut être dissout, lors de variations hydrologiques dans la formation qui le renferme ou par lessivage, et recristalliser ou se déposer dans une zone de sédimentation parfois éloignée. C'est ainsi que certains gisements d'âge tertiaire, notamment ceux du Bassin parisien, se sont formés par remobilisation de couches plus anciennes des niveaux du Trias.

D'autres gisements sont aussi le résultat de l'érosion et du démantèlement de couches de gypse, produisant un "sable" gypseux, qui peut s'accumuler pour former des dunes, comme dans certaines régions désertiques des USA.

## **2.3 - GISEMENTS FRANCAIS**

Le gypse et l'anhydrite sont très répandus sur le territoire français. Ce sont les niveaux du Trias supérieur ou Keuper (- 220 Ma\*), qui constituent la formation gypsifère la plus considérable sur le plan géologique, car ils correspondent à des dépôts accumulés dans un vaste bassin de mer épicontinentale. Ils sont répartis dans l'Est de la France, en Bourgogne et Jura, dans les Alpes, en Provence, Languedoc et Pyrénées. Le gypse est dans ce cas le produit d'altération de l'anhydrite, qui est seule présente en dessous d'une certaine profondeur, soixante mètres environ.

Les autres formations géologiques renfermant du gypse sont plus restreintes géographiquement. Elles appartiennent essentiellement, par ordre chronologique depuis les plus anciennes, au Jurassique supérieur (environ - 150 Ma), cas du gisement de Charente et de petits dépôts dans le Jura, puis à l'Eocène supérieur (environ - 40 Ma) pour les importants gisements du centre du Bassin parisien, enfin à la transition Eocène-Oligocène (âge: environ - 37 Ma) et à l'Oligocène dans le Vaucluse, les Bouches-du-Rhône et l'Aude.

Par ailleurs, il existe de nombreux gisements en France, notamment dans l'Est et le Sud du pays, qui sont peu connus, car ils sont généralement à une certaine profondeur, ou situés dans des régions montagneuses. D'autres niveaux, moins bien datés et de moindre importance, sont présents en Bourgogne, Alsace, Haute-Saône, Var ....

La forme originelle des gisements sédimentaires est stratiforme, en couches plus ou moins régulières ou lenticulaires, comme en Lorraine, dans le Bassin parisien ou le Vaucluse. Ces gisements ont souvent été érodés et ne représentent plus qu'à une partie de la formation initiale.

---

\* Ma: million d'années

En bordure des chaînes montagneuses ces dépôts sont basculés, plissés ou fracturés. Dans les zones montagneuses ils ont été laminés par endroits, ou accumulés en bourrages tectoniques et injectés en masses diapiriques, car le gypse, comme le sel, a des propriétés rhéologiques qui provoquent son fluage sous des contraintes mécaniques. Ceci donne parfois localement d'énormes volumes accumulés dans les chaînes montagneuses.

Les principaux gisements en exploitation sont reportés de façon schématique sur la figure 1 (où est indiqué également le niveau de production par département concerné).

Selon les régions, les principales caractéristiques des gisements sont les suivantes :

- **Bassin de Paris** : plus des deux tiers de la production française de gypse proviennent des gisements de l'Eocène supérieur (ou Ludien) de la région parisienne. Il s'agit d'un gypse saccharoïde compact, homogène et assez pur, formant quatre couches ou "masses", séparées par des niveaux marneux. Ce sont les deux couches supérieures, et parfois la troisième, qui sont exploitées à ciel ouvert et plus rarement par galeries souterraines. La première couche en partant du sommet a une puissance de l'ordre de 15-20 mètres, la seconde de 7 mètres.

Cet important gisement, réparti à l'origine dans une zone allongée d'est en ouest sur plus de 100 km englobant la région nord de Paris et la ville elle-même, est actuellement restreint aux buttes témoins qui n'ont pas été érodées, couvrant encore 17 500 ha. Vers le sud, le faciès gypseux passe par variation latérale au calcaire de Champigny.

Le gypse a été exploité dans le sous-sol de la ville de Paris, de même que dans de nombreux secteurs des Yvelines, du Val d'Oise et de la Seine-et-Marne. Les plus grandes exploitations actuelles sont situées dans les départements du Nord et de l'Est de la région parisienne, Val-d'Oise, Seine-St-Denis et surtout Seine-et-Marne. Cependant, une partie du gisement, sur environ la moitié de la superficie totale, est définitivement stérilisée par l'urbanisation, et les permis d'exploitation en cours devront être renouvelés, de même que les extensions exploitables devront être préservées, si l'on veut maintenir ce secteur d'activité, important en Ile-de-France.

- **Lorraine, Alsace** : les gisements appartiennent au Trias, avec gypse en surface (anciennement exploité) et anhydrite en profondeur, exploitée en Moselle. Leur épaisseur diminue, en passant de 60 mètres au Nord à 15-20 mètres au Sud. L'anhydrite exploitée forme une couche de 3,5 mètres intercalée dans des argiles rouges.

- **Franche-Comté** : il existe toute une série de gisements du Trias (Keuper) le long de la chaîne du Jura, qui ont été souvent exploités entre Lons-le-Saunier et Salins. Actuellement il reste deux exploitations, l'une en galerie à flanc de colline à Buvilly près de Grozon dans le département du Jura, avec deux couches de 2 à 4 mètres de puissance passant à de l'anhydrite, l'autre à Courbenans en Haute-Saône.

- **Alpes** : le gypse est présent à l'origine dans les formations du Trias de la chaîne, et a été injecté dans la couverture jurassique-crétacée lors des mouvements tectoniques de l'orogénèse alpine. Il a été exploité dans de nombreux secteurs et l'est encore, à ciel ouvert ou en galeries, dans la région de St Jean-de-Maurienne en Savoie. C'est un gypse blanc et de bonne qualité, avec des épaisseurs de plus de 10 mètres, et des réserves importantes.

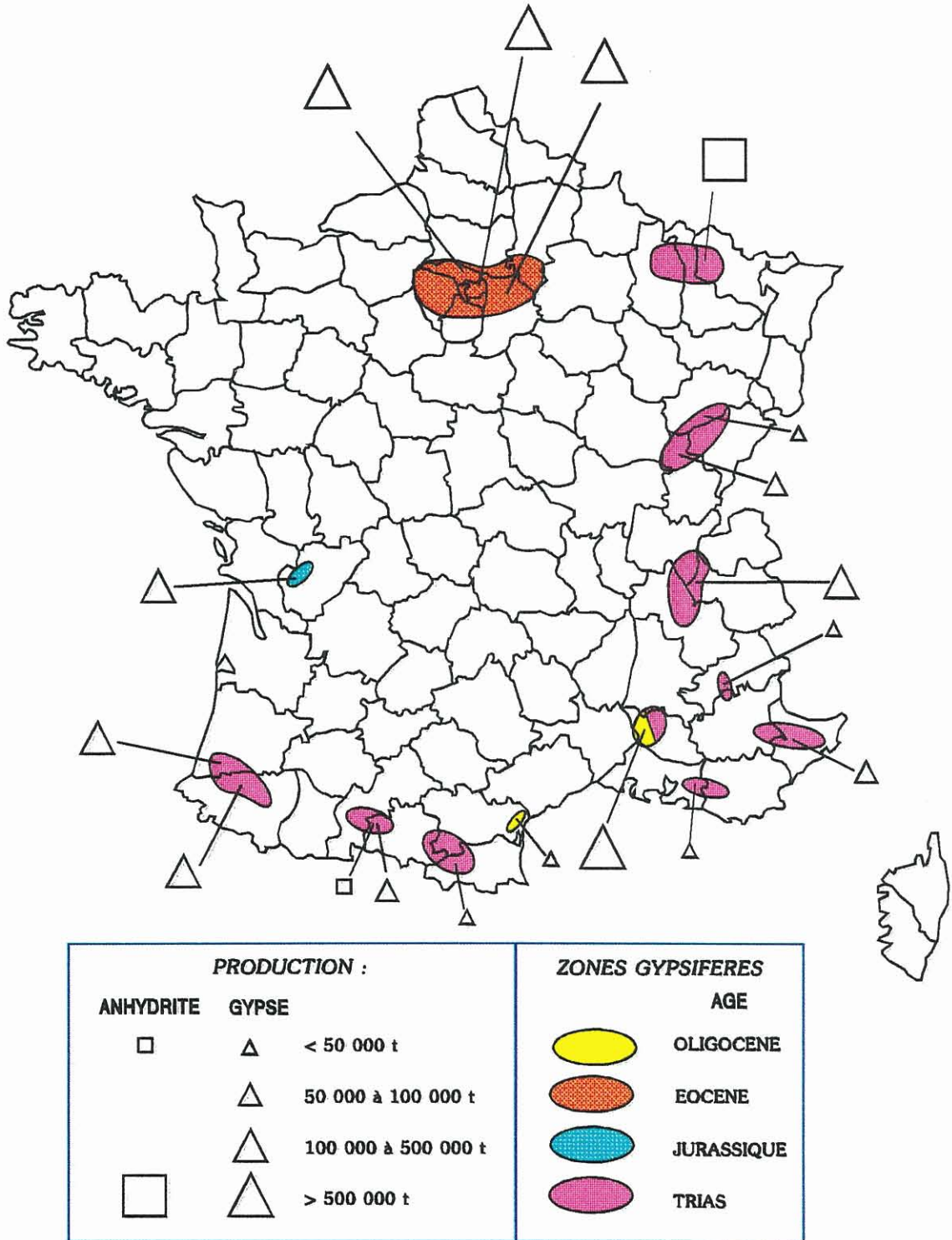


Figure 1. Localisation des gisements de gypse et d'anhydrite en exploitation en France et niveau de production annuelle (1991)

- **Provence - Cote d'Azur** : dans le Vaucluse, les importants gisements datés de la limite Eocène-Oligocène sont de formes lenticulaires, très épais, plus de 100 mètres et jusqu'à 150 mètres à Mazan. Il s'agit de gypse saccharoïde ou en grands cristaux. Mazan, qui est l'un des plus grands gisements d'Europe, est activement exploité en découverte sous un recouvrement de 70 à 80 mètres de marnes et calcaires (figure 2).

L'exploitation souterraine de St Pierre-les-Martigues, située dans une formation géologique de même âge dans les Bouches-du-Rhône, entre l'étang de Berre et la Méditerranée, a fermé récemment.

Les autres gisements, datés du Trias, sont très déformés par la tectonique et affleurent dans les vallées, où ils sont exploités dans les Alpes-Maritimes dans l'arrière pays niçois, à Sospel et Lantosque, ainsi qu'à Auriol près de Marseille (Bouches-du-Rhône), et à Beaumes-de-Venise dans le Vaucluse. Ce gypse, assez impur, est généralement utilisé pour les cimenteries.

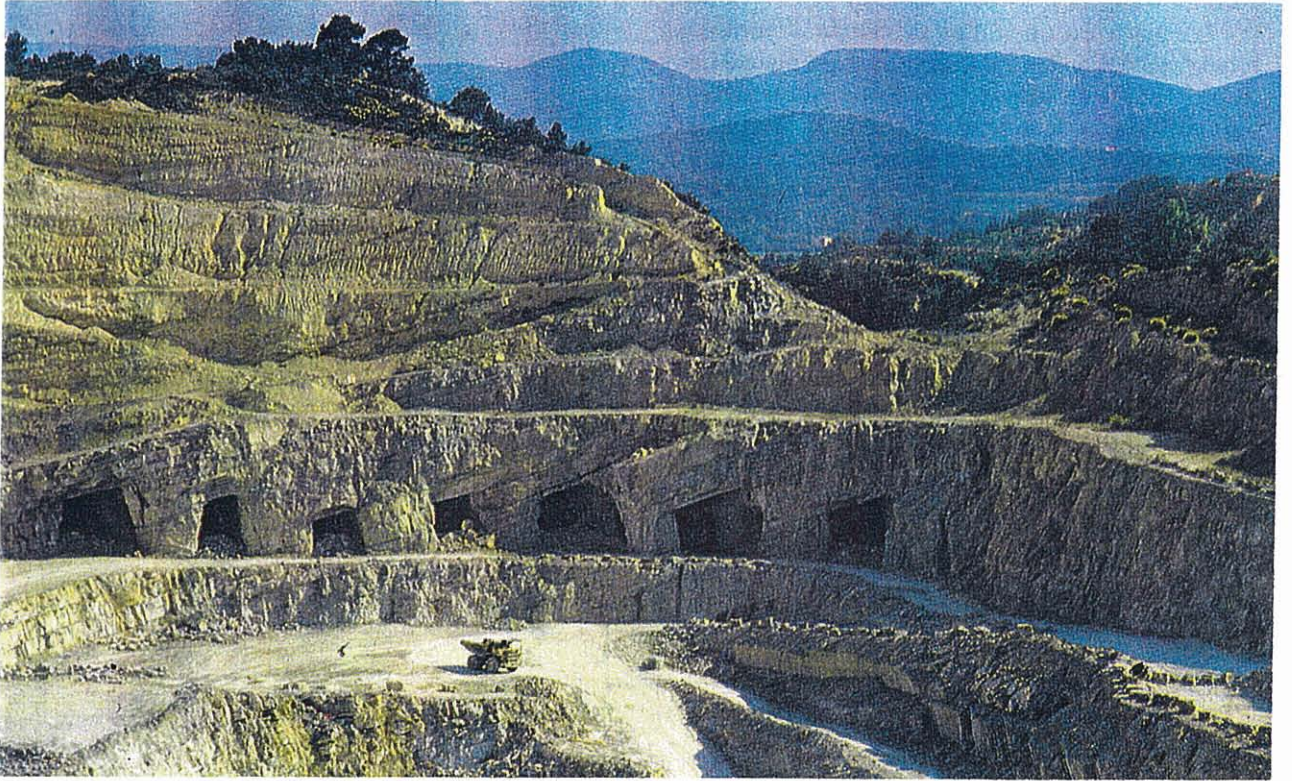
- **Languedoc et Sud-Ouest** : le gisement oligocène de Portel dans l'Aude possède une couche de 10 à 15 mètres de puissance avec de minces lits marneux, exploitée en galerie entre 90 et 130 mètres de profondeur. En bordure nord de la chaîne des Pyrénées, plusieurs gisements d'importances inégales ont été ou sont encore exploités (Pyrénées-Orientales et Ariège). Dans les environs de Tarascon sur Ariège le gypse exploité pour cimenterie constitue l'enveloppe épaisse d'un noyau d'anhydrite injecté dans des marnes du Trias.

A Carresse, dans les Pyrénées-Atlantiques, une couche de 15 mètres est exploitée sous un recouvrement de 15 à 25 mètres de stériles, et dans les Landes, à Pouillon, le gypse du Trias forme des amas intercalés dans des argiles au sein d'un dôme diapirique, avec des réserves estimées à 100 Mt.

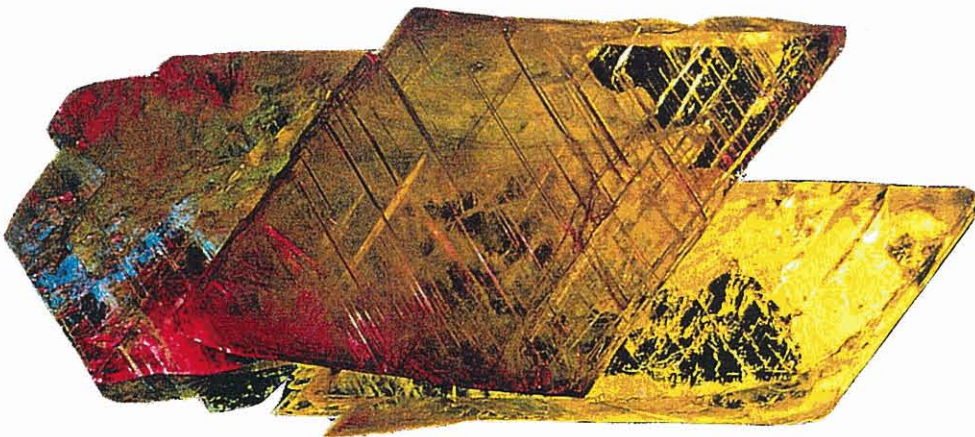
- **Charente** : les gisements des formations lagunaires d'âge jurassique supérieur affleurent dans la structure monoclinale de Cognac et des environs de Matha, et se prolongent en Charente-Maritime jusqu'à l'île d'Oléron. Les exploitations sont anciennes et ont été nombreuses.

Actuellement le gypse saccharoïde ou fibreux pur à 90 %, exploité à ciel ouvert à Cherves-Richemont près de Cognac (Charente), comporte quatre couches de 6 mètres d'épaisseur au total séparées par des bancs marno-calcaires. Le gisement peu penté est limité par failles.





*Source: Cahier de documentation. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille*



*Cliché Louis Masse.  
Document Chambre de Commerce et d'Industrie  
d'Avignon et de Vaucluse*

Figure 2. Exploitation à ciel ouvert de Mazan (Vaucluse) et cristal de gypse provenant du gisement.

## 2.4 - GISEMENTS DANS LE MONDE

Les formations gypseuses sont nombreuses dans tous les terrains sédimentaires du globe, mais les grands gisements sont localisés plus particulièrement dans certaines formations géologiques. Généralement accumulé dans les grands complexes évaporitiques des zones restées stables pendant de longues périodes, le gypse forme des gisements importants dans :

- le Cambrien de la plate forme sibérienne et du Pakistan (âge -570 Ma),
- l'Ordovicien du Canada (Colombie Britannique, âge -500 Ma),
- le Silurien des Etats-Unis et du Canada (Ontario, âge -435 Ma),
- le Dévonien des USA (Montana, Wyoming, âge -395 Ma),
- le Carbonifère du Canada (Nouvelle Ecosse, âge -345 Ma),
- le Permien de Russie, de Pologne, d'Allemagne et des USA (Texas, Nouveau Mexique, où il constitue les plus gros gisements du pays, âge -280 Ma),
- le Trias à faciès "germanique" de l'Europe de l'Ouest (Allemagne, France, GB, âge -225 Ma),
- le Jurassique du Canada, de l'Est de l'Afrique, d'Europe de l'Ouest, âge -190 Ma),
- le Crétacé des USA (âge -140 Ma),
- le Cénozoïque de France, Espagne, Italie, Indes (âge -40 à -35 Ma),
- le Quaternaire d'Ethiopie, d'Australie (âge < 2 Ma, 6000 ans seulement en Australie).

Cette liste n'est pas exhaustive mais seulement indicative. Les âges indiqués sont par ailleurs une limite maximale, pour les formations les plus anciennes.

## 2.5 - MODES D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENTS, CRITERES DE SELECTION

Le gypse et l'anhydrite peuvent être exploités en galeries souterraines ou en découvertes selon les conditions économiques, environnementales et les caractéristiques morphologiques du gisement. Parmi ces dernières, figurent l'épaisseur des couches exploitables, celle des terrains de couverture et leur caractéristiques mécaniques, ainsi que la régularité du gisement et sa structure. Dans certains cas, la valorisation des terrains de couverture (marnes, argiles...) permet d'augmenter la rentabilité des méthodes d'extraction à ciel ouvert, mais généralement celles ci deviennent difficilement rentables quand le taux de couverture\* atteint une valeur de 4 à 5.

**Dans les exploitations souterraines**, la couche à exploiter doit être assez continue si elle est stratiforme, ou très épaisse si elle est déformée, et le toit ainsi que le mur suffisamment résistants pour supporter le poids des terrains de recouvrement et celui des engins d'extraction et de transport. Techniquement, il est possible d'exploiter des couches ne dépassant pas 1,6 m de puissance, mais ceci implique un coût d'exploitation élevé.

---

\* Coefficient de recouvrement de la couche par les morts terrains. Un taux de couverture de 4 signifie que, pour une couche de 5 mètres d'épaisseur, il y a 20 mètres de morts terrains.



La technique d'exploitation la plus fréquente a d'abord été celle des chambres et piliers abandonnés. Elle consiste à tracer dans la couche de gypse des galeries parallèles équidistantes, d'environ 8 mètres de large, suivant deux directions perpendiculaires, laissant des piliers de section carrée. En fin d'exploitation il ne subsiste dans les quartiers de production que les piliers destinés à supporter les terrains sus-jacents, dont la section dépend des caractéristiques mécaniques du gypse en place et de l'épaisseur du recouvrement. En région parisienne, cette méthode ne permet de retirer qu'environ 40 % du gypse dans le cas de la première masse de 18 à 20 mètres d'épaisseur, 30 à 35 % pour l'ensemble des trois masses, et elle est de moins en moins utilisée car il existe un risque d'effondrement à long terme par dégradation des piliers.

Après extraction, certaines de ces exploitations sont aménagées, surtout en région parisienne (champignonnières, PC de la force de frappe à Taverny...), mais il est préférable de les remblayer par des matériaux inertes.

Depuis bientôt 30 ans, on préfère pour les exploitations souterraines la méthode de l'affaissement contrôlé ou dépilage, qui consiste schématiquement à provoquer à un instant choisi et dans des limites définies un affaissement simultané des terrains de surface pour combler les galeries. Le gisement est exploité par panneaux successifs, dans lesquels on dépèle en plusieurs étapes des rangées où l'on recoupe les piliers primaires en piliers de petites sections qui sont minés et tirés à l'explosif. Ceci permet de foudroyer la rangée enlevée par surfaces inférieures à l'hectare, avec un taux de récupération de 60 à 65 %.

Les avantages des exploitations souterraines sont essentiellement les suivants :

- activité possible en toutes saisons, les intempéries n'ayant pas d'influence sur l'abattage ;
- bonne sélectivité du produit à l'abattage ;
- fourniture d'un gypse homogène et peu humide ;
- possibilité d'extraction en zones d'environnement sensible ;
- réduction des coûts de remise en état, qui est une obligation réglementaire actuellement.

Par contre, ce mode d'extraction présente les inconvénients suivants :

- taux de récupération assez faible, du fait du matériau laissé dans les piliers et dans la partie supérieure de la couche ;
- contraintes techniques plus fortes, telles que aérage, purgeage, surveillance, confortement, foudroyage ;
- coûts supplémentaires liés à ces contraintes, et à un usage accru en explosifs par tonne extraite (4 à 5 fois plus qu'à ciel ouvert), ce qui provoque par ailleurs des vibrations en bordure de site.

**Les exploitations à ciel ouvert** sont pratiquées quand les conditions du gisement (nature, épaisseur et géométrie des différentes couches) le permettent. Les carrières sont généralement exploitées en gradins (figure 2, p. 13), après décapage des terrains de couverture, parfois valorisables quand il s'agit de sables, de marnes ou d'argiles. Le gypse tendre est abattu au buteur et le gypse dur à l'explosif. Dans ce cas les volées consomment peu d'explosifs, de l'ordre de 100 g/t de gypse. Les blocs de 0-800 mm sont transportés par camions ou mis sur convoyeur, parfois mobile, et envoyés dans un concasseur.

Le réaménagement des zones exploitées consiste en un remblayage, avec les stériles et des gravats, puis en une remise en culture ou un reboisement après remodelage définitif de la surface et étalage de terre végétale.

Les trois opérations de découverte, d'exploitation et de remise en état se pratiquent de façon coordonnée. L'avantage majeur de cette méthode est de pouvoir exploiter la totalité de la couche. Cependant les travaux de terrassement sont importants, et dans certains cas l'extraction doit se poursuivre en souterrain.

**Les modes de traitement** diffèrent selon le type de produit désiré, après le concassage et le criblage, qui permettent d'obtenir un matériau de granulométrie inférieure à 25 mm. Si besoin est, une phase de séchage est effectuée par gaz chaud pour faciliter la cuisson. Compte tenu de la qualité des gypses français il n'est pas nécessaire d'employer des méthodes de flottation ou de lixiviation pour les purifier.

Le gypse concassé peut servir de matière première pour l'industrie. Les gypses de pureté élevée se prêtent à un broyage fin, pouvant être inférieur à 12  $\mu\text{m}$ , pour une utilisation comme charge minérale.

Dans les usines situées près des carrières, le plâtre est préparé de la façon suivante :

- cuisson par voie sèche en fours tournant horizontaux ou verticaux ou en fours statiques, à des températures allant de 120 à 450°C, ce qui permet d'obtenir les plâtres d'utilisation courante, dont les bases sont l'hémi-hydrate  $\beta$  et le surcuit (voir chapitre 3.1) ;
- cuisson par voie humide sous pression de vapeur d'eau saturante en autoclave, ou sous pression atmosphérique en solutions salines à point d'ébullition supérieur à 100°C, donnant de l'hémi-hydrate  $\alpha$ , à la base des plâtres spéciaux pour moulage.

Après cuisson, des opérations de refroidissement, de broyage, éventuellement de mélange, puis de stockage en silo, permettent d'obtenir différentes catégories de plâtres. Le conditionnement pour livraison se fait en sacs de 40 kg, mais le plâtre peut être transporté en vrac par camion ou wagons citernes.

**Les critères de sélection** concernant l'exploitabilité des gisements de gypse sont donc essentiellement conditionnés par des facteurs économiques tels que la proximité des utilisateurs et l'usage du matériau extrait, pour plâtrerie ou cimenterie surtout, et par des considérations environnementales, notamment en région parisienne du fait de l'urbanisation et des contraintes de plus en plus grandes imposées par les municipalités riveraines.

En ce qui concerne le matériau lui-même, il doit avoir une teneur d'au minimum 75 % en  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ce qui peut ne pas être le cas dans certains des gisements du Trias et des autres formations du Sud de la France. Celui du Bassin parisien en contient 90 à 97 %. La composition du gypse dans le gisement ne doit pas varier trop rapidement, de façon à ce qu'il puisse être homogénéisé.

Des impuretés comme les marnes peuvent être intéressantes en petites quantités pour l'élaboration de certains produits, mais les sels solubles comme les chlorures, les sulfates de magnésium et de sodium, doivent avoir des teneurs très faibles.

## 3 - SECTEURS D'UTILISATION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

### 3.1 - SECTEURS D'UTILISATION

Le gypse et l'anhydrite possèdent de très nombreuses applications industrielles. En France, c'est la fabrication du plâtre qui est la plus grosse consommatrice de gypse, ce qui représente environ 80 % en tonnage, suivie par l'industrie cimentière, avec 15 %, les 5 % restant se répartissant entre la chimie et les charges, ainsi que l'agro-alimentaire.

Cette situation est un peu particulière aux pays du Bassin méditerranéen, où l'utilisation du plâtre dans la construction est très répandue. Dans le reste du monde le plâtre ne représente qu'environ 50 % des emplois du gypse, l'autre moitié étant répartie entre les industries cimentières, agro-alimentaires et chimiques.

#### 3.1.1 - Fabrication des plâtres

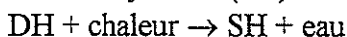
Dans le principe, la fabrication du plâtre peut apparaître comme une opération relativement simple (figure 3).

Cependant dans la réalité les processus sont complexes et les phénomènes physico-chimiques sont difficiles à maîtriser. Ils sont liés aux impuretés contenues dans le gypse en faibles quantités, mais qui influent sur les transformations cristallines au cours de la cuisson et de la mise en oeuvre, et donc sur les propriétés des produits obtenus.

Le gypse est un sulfate de calcium hydraté à deux molécules d'eau, ou di-hydrate (DH), donnant par décomposition thermique à la cuisson une série de produits partiellement hydratés ou anhydres, qui sont à la base des plâtres.

Les différents procédés sont les suivants :

- vers 120-160°C, on obtient les semi-hydrates (SH)  $\alpha$  ou  $\beta$ , par le processus :



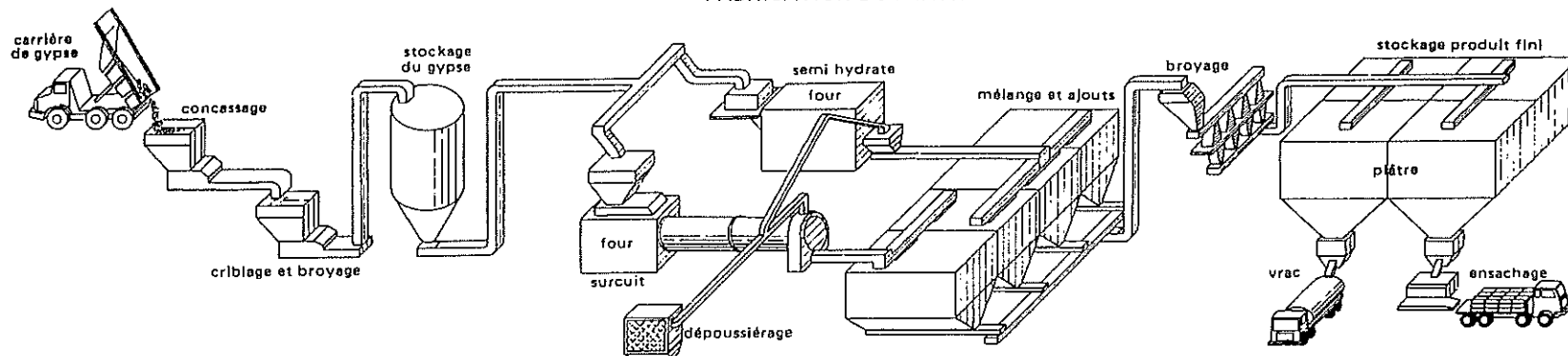
selon que l'on opère respectivement sous pression de vapeur d'eau en autoclaves, ou à l'air libre en fours tournants ou statiques. Le SH  $\alpha$  est plus dur que le SH  $\beta$ , qui est le constituant essentiel de tous les plâtres ;

- vers 200°C, on obtient l'anhydrite III ou anhydrite soluble instable, qui se réhydrate très rapidement en semi-hydrate au contact de l'eau en phase vapeur ;

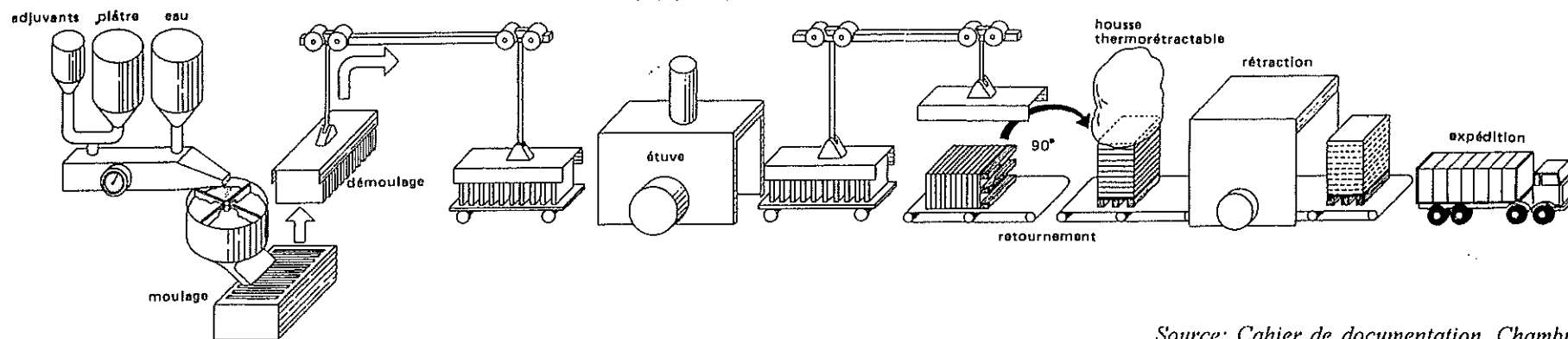
- entre 220 et 450°C, on obtient en fours tournants l'anhydrite II stable, ou surcuit, qui peut se réhydrater lentement au contact de l'eau, et qui rentre dans la composition de nombreux plâtres, comme ceux pour enduits ;

- au delà de 450°C, l'anhydrite II se transforme en anhydrite I, qui se réhydrate très difficilement.

FABRICATION DU PLÂTRE



FABRICATION DU CARREAU DE PLÂTRE



FABRICATION DE LA PLAQUE DE PLÂTRE

Source: Cahier de documentation. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille

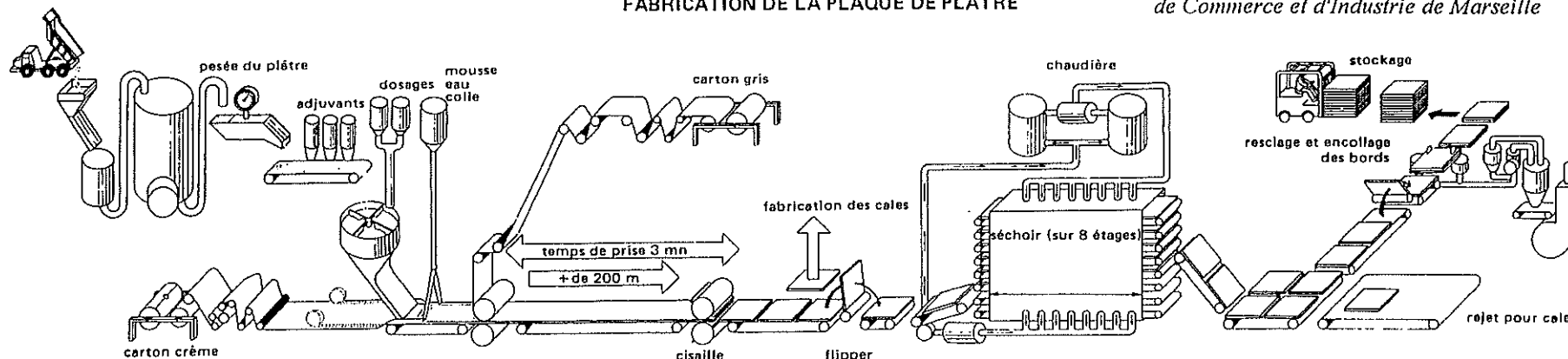


Figure 3. Schémas de fabrication du plâtre et des carreaux et plaques de plâtre

Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

PHASE	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O forme α	CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O forme β	CaSO <sub>4</sub> III	CaSO <sub>4</sub> II
Désignation	Sulfate de calcium dihydrate, gypse, "pierre à plâtre"	Sulfate de calcium Semi-hydrate Plâtre	Semi-hydrate Plâtre	Sulfate de calcium Anhydrite soluble Anhydrite III	Anhydrite naturelle Anhydrite II
Teneur en eau (%)	20,92	6,2	6,2	0	0
Masse volumique	2,31	2,76	2,62 à 2,64	2,58	2,93 à 2,97
Volume moléculaire	74,5	52,4	55,2	52,8	46,4 à 45,8
Système cristallin	monoclinique	rhomboédrique	rhomboédrique	hexagonal	rhomboédrique
Indice de réfraction	1521 - 1530	1559 - 1584	1559 - 1584	1501 - 1556	1570 - 1614
Stabilité	stable	métastable	métastable	métastable	stable
Préparation		voie humide	voie sèche		

Tableau 1. Les différentes phases du système CaSO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O et leurs caractéristiques physico-chimiques

Le plâtre ("plâtre de Paris") est un mélange en proportions variables de semi-hydrates, d'anhydrite soluble et d'anhydrite insoluble. Après broyage, ce mélange additionné d'eau fait prise pour redonner un produit ayant la composition du gypse et dont la cristallisation en aiguilles enchevêtrées permet d'obtenir des propriétés particulières sur le plan de la résistance mécanique, de l'acoustique ou de l'isolation thermique.

Selon les caractéristiques du gisement, le mode de cuisson, de broyage, et en incorporant des agents comme certains sels métalliques, modifiant le temps de prise et la viscosité, le fabricant peut élaborer toute une gamme de produits correspondant aux nombreuses utilisations du plâtre.

Les principaux types de plâtre sont les suivants :

- enduits traditionnels pour le bâtiment, certains étant de haute dureté ;
- enduits allégés spéciaux (par ajout de perlite expansée), résistant au feu ou isolants thermiques et phoniques ;
- plâtres de surfacage, de ragréage de sol, obtenus à haute température, plâtres à briqueter ;
- plâtres pour éléments préfabriqués, panneaux, carreaux de cloison et de plafond, d'isolation ou de décoration, carreaux porteurs ;
- liants de montage ou de finition ;
- plâtres à mouler pour staff ;
- plâtres à mouler pour les arts ou pour l'industrie, par exemple les moules de coulage pour plastique, porcelaine, sanitaires ;
- plâtres médicaux pour dentisterie ou chirurgie.

On trouve ainsi une cinquantaine de produits différents commercialisés sur le marché.

Les qualités d'isolation thermique et phonique ainsi que la résistance au feu et l'incombustibilité du plâtre et des éléments préfabriqués en plâtre, leur rôle dans la régulation hygrométrique de l'air ambiant, leur facilité de mise en oeuvre pour les derniers, et la gamme de plus en plus diversifiée des produits disponibles, en font des matériaux privilégiés dans la construction, la réhabilitation et la décoration. La figure 3 montre également de façon schématique les étapes de fabrication des carreaux et plaques de plâtre.

### **3.1.2 - Industrie cimentière**

Le principal constituant entrant dans la fabrication des ciments est le clinker, obtenu par cuisson de mélanges de calcaire et d'argile dans des fours industriels à des températures élevées, de l'ordre de 1500°C.

Les sulfates de calcium mélangés au clinker ont une action retardatrice sur la prise du ciment et augmentent sa résistance, dans la limite d'une teneur minimale de 2 %.

Les ciments Portland actuels sont constitués de clinker finement broyés, additionnés de 3 à 6 % de gypse destiné à régulariser la prise. On explique l'action du gypse par la propriété de former, par dissolution puis précipitation, une fine couche protectrice autour des grains de clinker.

L'anhydrite peut également être employée comme le gypse pour régulariser la prise des ciments, mais les dosages en  $SO_3$  doivent être plus importants. Il est parfois préférable d'utiliser l'anhydrite, notamment pour des broyages à chaud, durant lesquels la transformation du gypse en semi-hydrates risque de provoquer des phénomènes de fausse prise du ciment obtenu.

Certains ciments destinés à des ouvrages spéciaux, comme les ouvrages sous-marins ou les tunnels en terrain gypseux, peuvent nécessiter jusqu'à 15 à 18 % de sulfate de calcium. Ce sont des ciments sursulfatés dont la composition est d'environ 80 % de laitier broyé, 5 % de ciment Portland, et 15 % de sulfate de calcium. Ce mélange permet des réactions chimiques qui favorisent le durcissement extérieur du liant.

### **3.1.3 - Liants et produits d'anhydrite**

L'anhydrite naturelle finement broyée et additionnée à 1 % d'activateurs a la propriété de faire prise à l'eau et de durcir lentement. Les activateurs les plus fréquents sont les sulfates de zinc, de potassium, de radium et de fer. Un broyage très fin peut éviter l'utilisation d'activateurs.

Les produits à base de liants d'anhydrite sont d'une grande dureté pour l'emploi en mortier, et ils résistent bien à la pression lithostatique. Ils trouvent donc une utilisation grandissante en géotechnique pour la consolidation et l'étanchement des terrains et pour le traitement des zones friables. Dans les mines, celles de charbon en particulier, ils remplacent les piles de soutènement en bois, colmatent les venues d'eau et les vides, et servent de mur de sécurité dans les galeries à risque d'incendie ou d'explosion. Dans le bâtiment, l'anhydrite est utilisée pour la confection de dalles autolissantes.

### 3.1.4 - Industries chimiques

Les sulfates de calcium naturels (ou artificiels) sont utilisés comme matière première pour la fabrication de nombreux produits chimiques d'application industrielle :

#### *Sulfure de calcium et soufre*

Le sulfure de calcium CaS s'obtient par réduction de sulfate de calcium à haute température.

L'attaque de CaS par acide chlorhydrique forme de l'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S, qui peut ensuite être transformé en soufre par oxydation à l'air ou par grillage.

Ces procédés ne sont utilisés qu'en période de pénurie et ne sont pas rentables à l'heure actuelle.

#### *Acide sulfurique*

Plusieurs usines dans le monde emploient l'anhydrite naturelle pour obtenir de l'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, mais cette opération n'est rentable que si elle est combinée à d'autres réactions chimiques permettant d'obtenir d'autres produits.

#### *Sulfate d'ammonium*

Le sulfate d'ammonium est habituellement préparé par neutralisation directe de l'ammoniaque par l'acide sulfurique. Le gypse ou l'anhydrite peuvent servir de produits de substitution quand les matières sulfurés ne sont pas disponibles, selon la réaction :



### 3.1.5 - Charges minérales

Le caractère neutre et inerte du gypse, sa faible abrasivité, sa facilité à être finement broyé, ainsi que sa blancheur qui peut être élevée, en font un bon produit de charge dans les secteurs industriels suivants :

- plastiques ;
- peintures et colles, pâtes à modeler ;
- papiers, tissus ;
- verrerie ;
- insecticides en poudre ;
- pharmacie.

L'anhydrite broyée peut également s'employer en charge, dans les peintures et papiers, les cartons bitumés et les bitumes pour revêtements routiers.

### 3.1.6 - Agriculture et engrais

Les épandages de gypse broyé sur terrains agricoles peuvent présenter plusieurs avantages sur le plan agronomique.

En effet le gypse apporte une correction des sols salins ou alcalins qui se trouvent en région arides ou semi-arides et en bordure de mer. Le chlorure de sodium ayant une action inhibitrice ou asphyxiante sur la croissance des plantes et créant des sols durs et grossiers par défloculation des argiles, le gypse en solution permet un remplacement des cations  $\text{Na}^{++}$  par  $\text{Ca}^{++}$ , ce qui fait flocculer les argiles et rend le sol plus aéré et léger. Par ailleurs l'alcalinité est réduite et la teneur en calcium assimilable augmente.

Sur sols acides, le gypse semble neutraliser l'acidité en libérant  $\text{Ca}^{++}$ , tandis que  $\text{SO}_4^{--}$  serait absorbé par les plantes.

Les amendements sulfatés ont également une action bénéfique pour certaines cultures, comme les légumineuses, la vigne, le tabac, où ils diminuent les carences en soufre. Le gypse entre dans la composition des engrais aux superphosphates, et il permet de conserver la teneur en azote des fumures organiques en éliminant les bactéries dénitrifiantes.

Enfin le gypse broyé est utilisé en charge dans certains insecticides et fongicides en poudres.

### 3.1.7 - Industries alimentaires

Le gypse est utilisé pour la purification des eaux de brasserie grâce à son pouvoir flocculant. Il peut également être employé pour réduire la teneur en tartre et contrôler la clarté des vins.

Dans l'alimentation animale, le gypse broyé sert dans la préparation de nourritures pour bétail. Il pallie le manque de soufre et évite l'utilisation de matières azotées pour améliorer les fourrages de qualité médiocre.

### 3.1.8 - Décoration et urbanisme

Le plâtre fin est utilisé pour la confection de stucs et d'éléments décoratifs tels que corniches, panneaux, plaques de salles de concert etc.

L'albâtre, variété de gypse massif fin et pur, est utilisé comme pierre de décoration en remplacement du marbre, ou pour la sculptures de statues et d'objets décoratifs, quand il est translucide.

### 3.1.9 - Autres secteurs d'utilisation

Le gypse concassé ou broyé est utilisé dans de nombreux autres secteurs d'activité :

- en verrerie, où son ajout au mélange verrier en fusion facilite les dégagements gazeux et où il peut remplacer le sulfate de sodium pour éclaircir le verre fondu ;



- dans les domaines de l'art ou de la joaillerie pour le polissage des glaces, des pierres précieuses ou ornementales, de l'étain etc ;
- en protection de l'environnement pour la clarification des eaux troubles des étangs et rivières (1 à 1,5 t/ha), pour le raffinage des huiles ou l'absorption de déchets liquides, comme dessiccateur ou déshydratant ;
- enfin il entre dans les procédés de fabrication de certains produits comme les boues de forage, les gommes et crayons, les cosmétiques etc.

## 3.2 - SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

### 3.2.1 - Plâtres

La teneur en  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  est fondamentale. D'après la norme NF.B.12.300, le degré de pureté caractérisé par la teneur en sulfate de calcium doit correspondre à une teneur en  $\text{SO}_3$  supérieure 40 %, c'est à dire à un gypse pur à plus de 85 %. La granularité du gypse concassé marchand pour plâtre est de 0/8 mm, et doit être aussi précise que possible pour permettre une cuisson régulière des grains dans le four.

Parmi les impuretés, les plus nuisibles sont :

- $\text{MgO}$ , qui doit être  $< 2\%$
- $\text{K}_2\text{O} < 0,1 \%$
- $\text{Na}_2\text{O} < 0,1 \%$

Les normes NB.F.12.300 et NB.F.12.301 classent les plâtres en fonction de quatre critères :

- la granularité, grosse (G) ou fine (F) ;
- le mode d'application, manuel (M) ou mécanique (P) ;
- le temps d'emploi, court (n°1), allongé (n°2) ou très long (n°3) ;
- la dureté, normale (N), ou très haute (THD).

Le temps de prise varie de 3 à 15 mn pour le début, jusqu'à 10 à 45 mn pour la fin de prise.

La couleur est également importante pour les plâtres à enduire, qui doivent être suffisamment blancs.

Les plâtres pour céramiques, servant à la fabrication de moules, font appel à des gypses de qualité exceptionnelle, d'une pureté  $> 90 \%$ . Le gypse, matière première du plâtre utilisé pour la fabrication des carreaux, doit aussi avoir une bonne pureté et être de qualité constante.

Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des carreaux de plus de 5 cm d'épaisseur sont précisées par la norme NF.P.72.301, et celles des plaques de plâtre par la norme NF.P. 72.302.

Des normes européennes sont en cours de préparation pour tous ces produits.

### 3.2.2 - Ciments

La norme NF.P.15.301 sur les liants hydrauliques impose que les ajouts de sulfate de calcium sous forme de gypse ou d'anhydrite, effectués lors des opérations de broyage du clinker, doivent être tels que :

- $\text{SO}_3$  total < 5 % pour le ciment de laitier au clinker ;
- $\text{SO}_3$  total < 4 % pour les autres ciments.

La pureté chimique des gypses ou anhydrites utilisés peut être de 75 % seulement pour le gypse, de 60 % pour l'anhydrite, et la présence d'impuretés comme argiles ou marnes n'est pas gênante, de même que la couleur. La granularité de l'ajout est en général de 8/50 mm, avec moins de 20 % < 8 mm.

### 3.2.3 - Chimie et produits pour charge

Le gypse doit être pur à plus de 90 %. Pour servir comme charge, il est micronisé à moins de 100  $\mu\text{m}$ , jusqu'à 1,4  $\mu\text{m}$ , et il doit avoir un indice de blancheur élevé (96-97 %), un indice de réfraction de 1,52-1,58, et un indice d'absorption de 25-26 cc/100 g.

### 3.2.4 - Agriculture et engrais

Les spécifications sont peu contraignantes car cet usage ne demande pas de produits de pureté élevée: 50 % minimum de  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$  pour le gypse, et une granularité de 0/2 mm pour avoir un effet plus rapide.

### 3.2.5 - Alimentation et pharmacie

Dans ce secteur d'activité les spécifications de pureté sont les plus strictes :

- gypse de pureté > 96,75 %  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$  ;
- teneurs en As < 3 ppm
  - Se < 30 ppm
  - F < 30 ppm
  - Fe < 100 ppm
  - Pb < 10 ppm
- en métaux lourds < 10 ppm.

### 3.2.6 - Autres utilisations

En verrerie, il faut du gypse ou de l'anhydrite de bonne pureté, avec une granularité de 0/2 mm et moins de 3 % de refus à 2 mm.

## 4 - ECONOMIE ET MARCHÉ

### 4.1 - PRODUCTION FRANÇAISE ET ÉCHANGES COMMERCIAUX

En 1991, la production totale de gypse et d'anhydrite en France s'est élevée à un peu plus de 6,1 Mt, dont 5,4 Mt de gypse, transformé en plâtre (environ 80 %) ou utilisé cru (environ 20 %). Ce chiffre global est en légère augmentation depuis le milieu des années 80, après une baisse assez sensible au début de la décennie. Ceci semble dû à une production accrue d'anhydrite, bien que les données précises concernant ce produit ne soient pas disponibles.

Le chiffre d'affaire total de la production de gypse départ carrière était de 122 MF en 1988. Celui de la production totale de gypse, plâtre et produits dérivés se monte à 3,8 milliards F en 1991.

De par leurs structures intégrées, les sociétés productrices françaises, appartenant pour l'essentiel à trois grands groupes européens, sont aussi transformatrices du plâtre brut en produits plus élaborés. On peut donc considérer qu'environ 60 % de la production de gypse sont destinés à des livraisons à soi-même.

Sur les 3,3 Mt de plâtres de construction et de plâtres à mouler produits en 1990, environ 2 Mt ont été destinés à la préfabrication, 754 000 t aux plâtres pour enduits manuels, 126 000 t aux plâtres pour enduits projetés mécaniquement, et 250 000 t aux plâtres à mouler. La production de carreaux de plâtre a été de 17 Mm<sup>2</sup>, et celle de plaques a atteint 160 Mm<sup>2</sup>.

Ces chiffres sont très différents de ceux d'il y a un dizaine d'années. Le marché des plâtres de construction à projeter a chuté de près de moitié depuis 1982, tandis que celui des carreaux et des plaques a nettement progressé, comme le montrent les courbes figure 4, d'après l'étude de M. Roselli (Plâtres Lambert, parue dans "Ciments, bétons, plâtres, chaux" N° 3/93).

La balance commerciale gypse-anhydrite est, quant à elle, toujours nettement positive, mais les exportations de gypse ont sensiblement baissé depuis 1985-1986, années où elles dépassaient 1 Mt/an, pour n'atteindre que 0,73 Mt en 1992.

Dans le même temps les importations ont progressé en passant de moins de 30 000 t/an avant 1986 à plus de 100 000 t/an depuis 1987. En ce qui concerne le plâtre, les statistiques montrent que les exportations progressent légèrement, les importations variant irrégulièrement mais restant faibles.

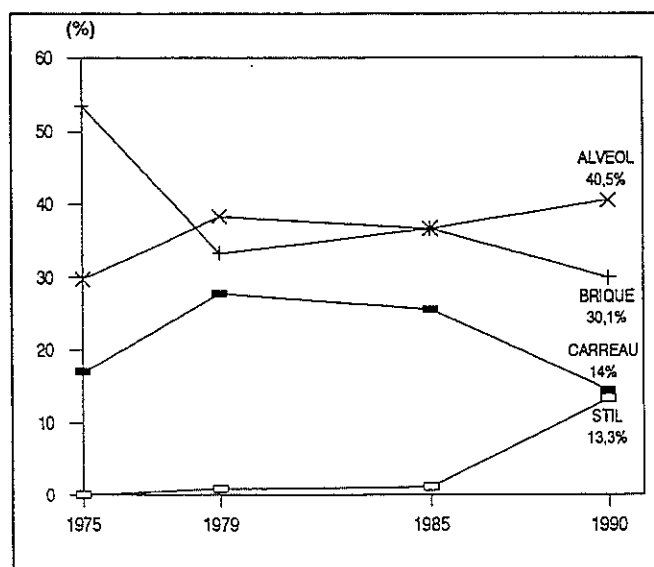
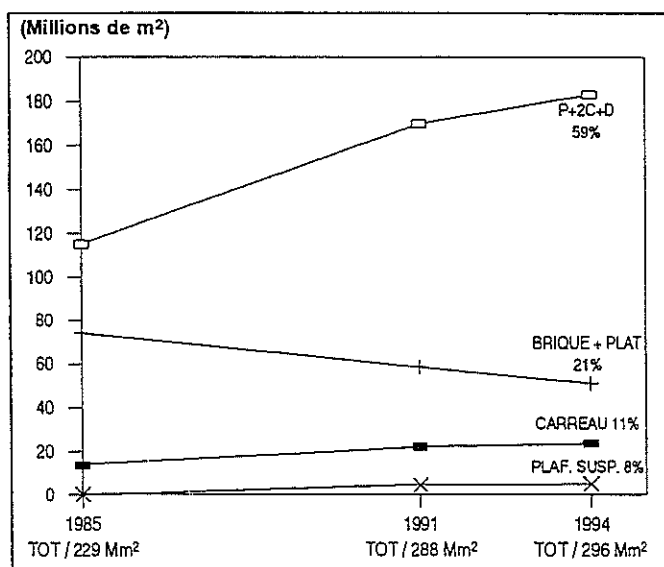
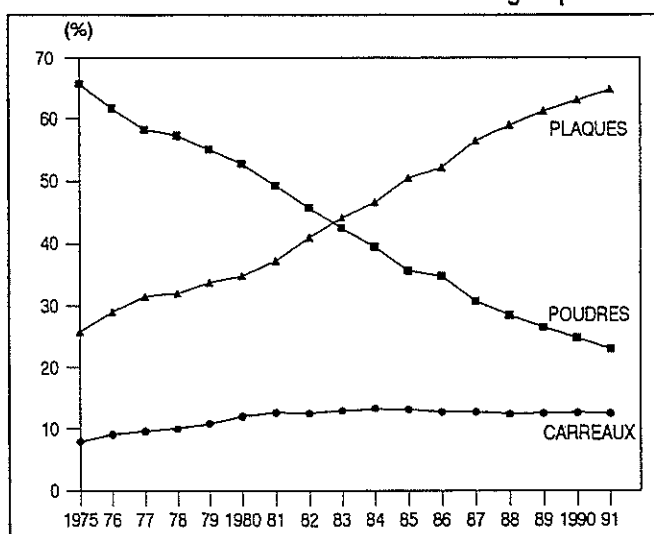
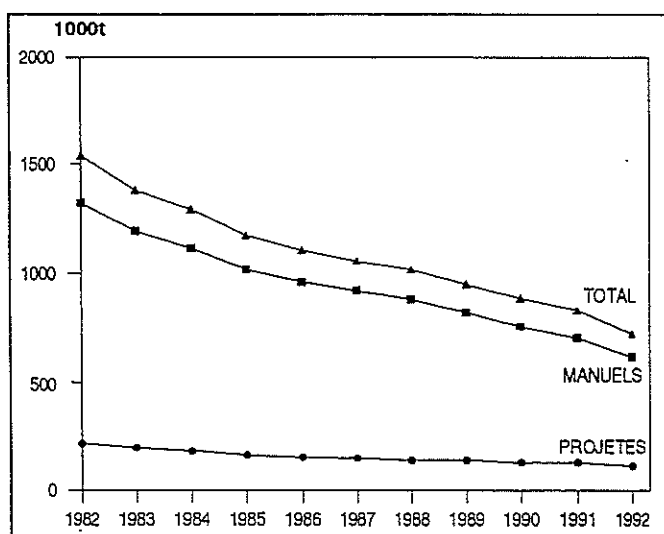
Nos clients les plus importants sont la RFA, le Bénélux, la Grande-Bretagne et les pays nordiques, et nous importons depuis les pays limitrophes, Belgique, RFA, Suisse, Espagne.

Marché des plâtres de construction en France (en milliers de tonnes)

	MANUELS	PROJETÉS	CONSTRUCTION
1982	1 331	213	1 544
1983	1 198	190	1 388
1984	1 120	178	1 298
1985	1 014	159	1 173
1986	957	146	1 103
1987	919	139	1 058
1988	873	137	1 010
1989	813	132	945
1990	754	126	880
1991	701	121	822
1992	610	107	717

Évolution des marchés des plâtres de construction en France

Évolution des marchés selon les technologies plâtrières



Évolution des marchés et des technologies du plâtre de construction en France

Évolution des technologies de cloisons utilisées dans le résidentiel neuf

(d'après M. ROSELLI - Plâtres Lambert)

Figure 4. Evolution des marchés et des technologies du plâtre de construction en France.

L'ensemble de ces données est représenté dans le tableau 2 suivant :

	Production totale Gypse + Anhydrite (Mt)	Chiffre d'affaire Prod. gypse (MF)	Exportations (kt)		Importations (kt)		Consommation apparente (Mt)
			G + A	P	G + A	P	
1985	5,80	105	1062	232	28	11	4,5
1986	5,80	110	1084	226	61	30	4,5
1987	5,96	114	941	228	120	28	4,9
1988	6,20	122	915	242	169	67	5,2
1989	6,26	?	769	329	138	58	5,3
1990	6,39	122	759	255	116	31	5,5
1991	6,17	?	803	269	163	22	5,2
1992		?	727	283	104	56	

Tableau 2. Production et échanges commerciaux de gypse et d'anhydrite en France depuis 1985

Après une forte baisse de 1980 à 1985, la consommation apparente a progressé de plus de 20 % entre 1985 et 1990, en relation avec un emploi accru d'éléments préfabriqués dans le bâtiment. Il y a eu aussi une plus grande production d'anhydrite, dont plus du tiers est exportée. Depuis 1990 la tendance générale est de nouveau à la baisse, dans un contexte économique à l'échelle mondiale.

#### 4.2 - PLACE DU GYPSE ET DE L'ANHYDRITE DANS L'INDUSTRIE EXTRACTIVE FRANCAISE. REPARTITION DE LA PRODUCTION

Le gypse et l'anhydrite représentent un peu plus de 1 % du tonnage des matériaux de carrière extraits en France, mais le nombre d'exploitations est restreint, une trentaine au total, et celles-ci ne couvrent qu'une faible surface en comparaison des autres carrières.

Les industries du gypse, du plâtre et des produits en plâtre représentent environ 8 % du chiffre d'affaire et 6 à 7 % des effectifs de l'ensemble des branches d'activité des carrières et des matériaux minéraux de construction.

Ces industries de production, très automatisées, emploient peu de personnel, environ 3600 cadres et ouvriers en 1991. Mais elles fournissent de l'activité à un grand nombre d'entreprises du bâtiment, dont 20 000 entreprises de plâtrerie.

Au total, l'ensemble des activités d'extraction, de fabrication, de transport et de mise en oeuvre des produits manufacturés représente quelques 80 000 emplois.

**La production française de gypse** est actuellement concentrée dans les carrières de la région parisienne, qui produisent plus des deux tiers du gypse extrait en France, loin devant les autres régions telles que Provence-Côte d'Azur. L'anhydrite est quant à elle produite presque exclusivement dans le département de la Moselle, mais n'est pas prise en compte dans le calcul de la répartition.

Celle-ci, par régions, est la suivante en 1992 (tableau 3) :

Ile-de-France (Seine-et-Marne, Val d'Oise, Seine-St Denis, Yvelines)	68 %
Provence-Côte d'Azur (Vaucluse, Bouches-du-Rhône, Htes-Alpes, Alpes-Maritimes)	13 %
Aquitaine (Landes, Pyrénées-Atlantiques)	7 %
Rhône-Alpes (Savoie)	5 %
Poitou-Charentes (Charente)	4 %
Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon (Ariège, Hte-Garonne, Aude, Pyrénées-Orientales)	2 %
Franche-Comté et Lorraine (Jura, Hte-Saône, Moselle)	1 %

Tableau 3. Répartition de la production française de gypse par régions en 1992

Selon les départements les principales données concernant le type de carrières de gypse et d'anhydrite en exploitation, leur localisation, les exploitants et les secteurs d'utilisation, sont rassemblées dans le tableau 4 suivant :

DEPARTEMENT	COMMUNE	EXPLOITANT	SUBSTANCE UTILISATION	MODE D'EXPLOITATION
Hautes-Alpes	- Lazer	- Plâtres Lambert	G - divers	Ciel ouvert
Alpes -Maritimes	- Lantosque - Sospel	- Plâtres Lafarge - Vicat	G - ciment G - ciment	Mixte Ciel ouvert
Ariège	- Arignac * - Betchat - Prat et Bonrepaux	- Plâtrières de France SA - Gravières de Martres Tolosane - " " "	G - A - divers G - divers G - divers	Mixte
Aude	- Portel **	- Plâtres Lafarge	G - plâtrerie	Souterraine
Bouches-du-Rhône	- Auriol **	- Plâtres Lafarge	G - ciment	Mixte
Charente	- Cherves Richemont - Moulidars	- SOGYCO - Ets Gin P et F	G - plâtrerie G - divers	Ciel ouvert Ciel ouvert
Jura	- Buvilly	- Plâtrières de Grozon (Lambert)	G - divers	Souterraine
Landes	- Pouillon	- Plâtrières Modernes (Lambert)	G - ciment	Ciel ouvert
Moselle	- Faulquemont - Koenigsmaker	- Société Mosellane d'Anhydrite - L'Anhydrite de Lorraine SA	A - divers A - divers	Souterraine Souterraine
Pyrénées-Atlantiques	- Carresse	- Plâtres Lafarge	G - divers	Mixte
Pyrénées-Orientales	- Lesquerde	- Société Bournet	G - cimenterie, agriculture	Souterraine
Haute-Saône	- Vellechevieux	- Ciments d'Origny	G - cimenterie	
Savoie	- St Jean-de-Maurienne - " " " - St Pancrace - Montrichet Albane	- Plâtrières de Grozon - Gypse de Maurienne SA - Gypse de Maurienne SA - SEGY SA	G - divers G G - divers G	Souterraine " " "
Seine-et-Marne	- Le Pin - Villeparisis - St Soupplets	- Plâtres Lafarge - Plâtres Lambert - Knauf	G - plâtrerie G - plâtrerie G - plâtrerie	Souterraine Ciel ouvert Ciel ouvert
Vaucluse	- Beaumes de Venise - Mazan	- Ciments Français - Plâtres Lafarge	G - cimenterie G - divers	Ciel ouvert Ciel ouvert
Seine-St-Denis	- Clichy sous Bois - Vaujours	- SAMC - SAMC	G - plâtrerie G - divers	Ciel Ouvert Ciel ouvert
Val d'Oise	- Corneilles - Taverny - Villiers Adam	- Plâtres Lambert - SAMC (Lambert) - Plâtres Lafarge	G - divers G - plâtrerie G - divers	Ciel ouvert Souterraine

\* fermée depuis 1991

\*\* fermeture prévue en 1993

Tableau 4. Carrières de gypse et d'anhydrite en exploitation en France

Dans les zones urbanisées, notamment en région parisienne, les exploitations se heurtent à de nombreuses contraintes du fait de l'opposition des municipalités et des riverains à l'extension ou à la poursuite de leur activité. Les permis d'exploitation sont d'une durée de 30 ans au maximum, et la tendance actuelle de l'administration de ne pas en accorder de nouveaux, et même de revenir sur les autorisations en cours, limite sérieusement la durée des exploitations en Ile-de-France.

Cependant certains gisements, comme celui de Corneilles-en-Parisis, sont en partie préservés et font l'objet d'un statut particulier en tant que zones spéciales d'exploitation, en application de l'article 109 du code minier.

#### **4.3 - STRUCTURE INDUSTRIELLE DES PRODUCTEURS FRANCAIS DE GYPSE ET PLATRE ET D'ANHYDRITE. PRIX DE VENTE**

L'industrie du gypse et du plâtre est représentée par une profession ramenée pratiquement à trois sociétés de dimensions internationales, comprenant de nombreuses filiales.

Les usines de transformation, qui demandent des investissements très importants, sont implantées à proximité immédiate des sites d'extraction, ouverts en général depuis longtemps. Il reste quelques exploitants indépendants, qui fournissent le gypse à des unités de fabrication situées à proximité, ou à des utilisateurs régionaux.

Depuis leur rachat en 1990 par la société britannique BPB Industries PLC, premier groupe européen dans le secteur du gypse et premier producteur mondial de produits à base de gypse, Plâtres Lambert et SAMC, anciennement filiale du groupe Poliet, ont été regroupés sous l'appellation "PLATRES LAMBERT", de même que les filiales Plâtrières Modernes, Plâtrières de Grozon, et Bertolle. Le groupe BPB France comprend aussi le producteur de plaque Placoplâtre, et possède neuf carrières de gypse, et douze manufactures de carreaux et plaques. Leur implantation en France est répartie entre la région parisienne, le Nord, la Lorraine, l'Alsace et le Jura, ainsi que les Landes et la Charente. Le groupe est présent dans de nombreux autres pays européens.

Immédiatement en seconde position en Europe, Plâtres LAFARGE, qui a racheté en 1984 le britannique Redland Plasterboard (maintenant Lafarge Plasterboard), exploite 7 carrières et rassemble un potentiel de 24 établissements de production de gypse et de plâtre, ainsi que de carreaux, de plaques et de cloisons à travers toute la France (région parisienne, Provence, Sud-Ouest). Le groupe est aussi présent dans les principaux pays d'Europe, en Thaïlande et en Australie, avec un total de 20 carrières et de 42 usines.

KNAUF, groupe allemand et troisième producteur européen (10 % du marché), a récemment acquis une carrière de gypse et construit une unité de plaques près de Meaux à l'Est de Paris. Il est également implanté commercialement en Alsace.

Enfin, cinq autres entreprises de moindre dimension sont en activité, dont la plus importante est l'exploitation de Cherves-Richemont dans le département de la Charente, appartenant au groupe Garandeau, qui produit du plâtre et fournit du gypse à des unités d'éléments préfabriqués des environs, ainsi qu'à des cimenteries et à l'agriculture.

Quant aux deux producteurs d'anhydrite du département de la Moselle, l'Anhydrite Lorraine est une filiale à parts égales de Plâtres Lambert et de Knauf, et la Société Mosellane d'Anhydrite a été cédée récemment au principal groupe cimentier allemand.

La liste des sociétés membres du Syndicat National des Industries du Plâtre est la suivante (tableau 5).

<b>ANHYDRITE LORRAINE</b> Route d'Elzange Koenigsmacker 57110 Yutz Tél. 82 50 00 46	<b>STE DES PLATRIERES DE GROZON</b> BP 11 39800 Poligny Tél. 84 37 16 45
<b>BERTOLLE FRERES</b> 79/81, Route de Paris 95400 Villiers leBel Tél. 39 90 03 10	<b>STE DES GYPSES DE MAURIENNE</b> BP 11 39800 Poligny Tél. 84 37 16 45
<b>Ets VIEUJOT</b> 11, rue Saint-Paul 95230 Soisy S/Montmorency Tél. 39 89 29 48	<b>LA MOSELLANE D'ANHYDRITE</b> 36, rue du Général de Rascas 57220 Boulay Moselle Tél. 87 39 33 33
<b>ETS GIN ET FILS</b> 16290 Hiersac Tél. 45 96 91 14	<b>PLATRES KNAUF et Cie</b> Zone industrielle 68190 Ungersheim Tél. 89 26 69 46
<b>PLATRES LAMBERT / SAMC</b> Tour Albert 1 <sup>er</sup> 65, Avenue de Colmar 92500 Rueil Malmaison Tél. 47 52 90 90	<b>PLATRES LAFARGE</b> 5 avenue de l'Egalité - BP 28 84800 L'ISLE SUR SORGE Tél. 90 21 21 21
<b>SOCIETE PLACOPLATRE</b> 20, rue Victorien Sardou BP 316 92506 Rueil Malmaison Tél. 47 32 92 03	<b>SOCIETE DES PLATRES MODERNES</b> BP 2 40350 POUILLON Tél. 58 73 20 30
<b>ATELIERS SEDAP</b> 3, rue Sanlecque BP 166 44006 Nantes Tél. 40 47 19 04	<b>SOCIETE PREMACO</b> Les petites pièces du Fresne 50480 Ste MÈRE EGLISE Tél. 33 41 44 59

Tableau 5. Sociétés françaises membres du Syndicat National des Industries du Plâtre.

Les prix de vente du gypse brut départ carrière varient pour les granularités courantes entre 40 F/t et 100 F/t. Celui du gypse calciné est d'environ 200 F/t alors que celui du plâtre en vrac est compris entre 250 et 800 F/t en moyenne, selon la qualité et l'usage final (certains plâtres pour moulage atteignent 3000 F/t). Le gypse micronisé pour charge est généralement vendu entre 400 et 1000 F/t selon la qualité, mais certains produits très fins et purs sont probablement plus chers. Du fait de l'importance de la production et de la concurrence entre producteurs, les prix pratiqués en région parisienne sont les plus bas.



A l'exportation, le prix moyen était de 98 F/t pour le gypse cru, de 376 F/t pour le plâtre de construction, et de 794 F/t pour les plâtres spéciaux (chiffres 1991). Le prix des produits importés était plus bas en ce qui concerne le gypse cru, mais nettement plus élevé pour les différentes sortes de plâtres, ce qui semble lié à des qualités spéciales.

Les prix des carreaux et plaques de plâtre dépendent du degré d'élaboration du produit (hydrophobie, ajout de perlite expansée pour isolation...). Ces prix ont fortement baissé du fait de la concurrence entre les trois grands producteurs, jusqu'à 50 % au cours des dernières années, mais ont tendance à se relever à nouveau (10 à 25 % depuis début 1992).

#### 4.4 - DONNEES SUR LA PRODUCTION MONDIALE

Il n'existe pas de données statistiques précises sur l'ensemble de la production à travers le monde, le nombre de pays producteurs étant grand, plus de 80, et les consommations souvent locales. La production a été estimée à plus de 100 Mt en 1991, y compris le gypse de synthèse sous-produit de nombreuses industries chimiques et de la désulfuration des fumées dans les pays industrialisés.

Les dix principaux producteurs mondiaux sont dans l'ordre :

- USA	15,5 Mt
- Chine	9,0 Mt
- Canada	8,8 Mt (avec anhydrite)
- Iran	8,8 Mt
- Japon	7,0 Mt (dont 5 Mt de synthèse)
- France	6,2 Mt (avec anhydrite)
- Mexique	6,1 Mt
- Espagne	5,5 Mt
- CEI	4,4 Mt
- Grande Bretagne	3,8 Mt

Cette hiérarchie est très différente de celle de 1980, avec une percée importante du Canada, et des pays asiatiques. La RFA a beaucoup réduit sa production de gypse naturel, pour utiliser le gypse de synthèse produit par désulfuration des fumées de centrales thermiques.

Les courants commerciaux les plus importants se trouvent en Amérique du Nord, où les USA importent environ 5 Mt de gypse par an en provenance du Canada et du Mexique. Le Japon importe plus de 1 Mt/an. La France exporte surtout vers la RFA et le Bénélux, mais également vers l'Afrique du Nord et les pays nordiques. En Europe, l'Espagne est également un exportateur notable.

## 5 - PRODUITS DE SUBSTITUTION

### 5.1 - LES GYPSES RESIDUAIRES ET DE SYNTHÈSE

Les gypses résiduels et de synthèse sont les sous-produits de nombreuses industries chimiques ainsi que de la désulfuration des fumées de combustion d'hydrocarbures et de combustibles solides. Les industries chimiques produisant du gypse sont celles de l'acide phosphorique (phosphogypse), du dioxyde de titane (titanogypse), de l'acide fluorhydrique (fluorogypse), et des acides citrique, lactique et tartrique.

**Phosphogypse, titanogypse, borogypse et fluorogypse.** Le phosphogypse est un sous-produit de l'industrie des engrais phosphatés. L'acide phosphorique nécessaire à leur fabrication est obtenu par attaque du phosphate de calcium naturel par de l'acide sulfurique en excès. On obtient alors un mélange d'acide phosphorique et de sulfate de calcium (phosphogypse) que l'on sépare par filtration. Le résidu de filtration contient le phosphogypse mais aussi de nombreuses impuretés, telles que le fluorure de calcium, des composés phosphatés non décomposés, de la matière organique etc.

La synthèse d'une tonne d'acide phosphorique produit cinq tonnes de phosphogypse. En France il en est produit actuellement environ 5 Mt par an, surtout dans la zone Le Havre - Rouen et dans le Nord. Ce chiffre est en baisse depuis 1980, en liaison avec la diminution de la consommation d'engrais phosphatés.

Le phosphogypse pose un problème de stockage ou d'évacuation, car son utilisation est très réduite, du moins en France. Parmi les nombreuses possibilités de valorisation, employées dans des pays comme le Japon et l'Allemagne, on trouve naturellement la plâtrerie, mais il est nécessaire dans ce cas de traiter le phosphogypse pour éliminer les impuretés ( $P_2O_5$ , F, Si, Fe, Al, C et produits radioactifs) par filtration, cyclonage, flottation ou neutralisation. Avec les opérations de séchage et calcination, la consommation en énergie est pratiquement le double de celle du plâtre obtenu de façon classique.

De plus, le produit obtenu ne convient que pour certaines catégories de plâtre, en particulier les plâtres pour préfabrication, car il est généralement coloré, et difficile à mettre en oeuvre comme enduit.

Les autres domaines d'utilisation du phosphogypse sont les suivants :

- adjuvant dans les ciments, en usage dans de nombreux pays ;
- catalyseur de prise de liants pouzzolaniques en assise routière ;
- compactage avec du plâtre ou d'autres liants hydrauliques, pour objets préfabriqués ;
- charge en papeterie ou plastiques ;
- désalinisation de sols par remplacement des ions chlorures par des ions sulfates.

Le titanogypse est produit par la neutralisation de l'acide sulfurique nécessaire à la production de dioxyde de titane, utilisé comme pigment. Une tonne de  $TiO_2$  produit ainsi 2,4 tonnes de titanogypse, soit 340 000 t/an en France. Celui-ci est fortement coloré par des oxydes. Les autres gypses résiduels sont produits en moindre quantité (60 000 tonnes de borogypse). Les utilisations sont les mêmes que celles du phosphogypse.

**Le gypse de désulfuration** est obtenu dans les centrales thermiques, par désulfuration des fumées de combustion des hydrocarbures ainsi que des charbons et des lignites.

La réaction de base consiste à absorber le dioxyde de soufre dans de l'eau. Ceci donne une solution acide contenant des ions  $HSO_3^{2-}$ , neutralisés par de la chaux  $CaO$  ou du calcaire  $CaCO_3$  en produisant du sulfite en milieu alcalin, lui-même oxydé en sulfate de calcium qui s'hydrate avec de l'eau et précipite sous forme de gypse. Cette réaction produit une grande quantité de gypse, soit trois tonnes par tonne de  $SO_2$  éliminé.

La production de gypse par cette méthode va croître dans les prochaines années pour des raisons de lutte contre la pollution, et atteindre 10 Mt en Europe (Allemagne, Grande-Bretagne, Pologne...) et aux USA à l'horizon 2000. Ce gypse, quand il est utilisé, l'est surtout en agriculture et pour la fabrication de plaques de plâtre. La France est peu concernée par cette production car son électricité est surtout d'origine nucléaire.

## 5.2 - AUTRES PRODUITS MINÉRAUX

Le gypse est généralement moins coûteux que d'autres charges minérales telles que les calcaires blancs, le kaolin et le talc qu'il concurrence pour des utilisations courantes dans les industries du papier, des peintures et des plastiques. Il reste d'un emploi assez limité car ses propriétés physico-chimiques sont dans l'ensemble moins bonnes.

On ne peut donc pas, à l'inverse, considérer que le gypse est concurrencé par d'autres charges minérales. Dans le domaine agricole, les produits pour amendements sont souvent utilisés selon les disponibilités locales et là encore, le gypse n'est pas nettement concurrencé.

## **6 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BONNIVARD G. (1991) - La carrière de gypse de Champblanc, pp. 102-103. Industrie Minérale Vol. 73, Août-Septembre 1991
- CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE D'AVIGNON ET DE VAUCLUSE (1979) - Ressources minérales du Vaucluse.
- COLLOMB F.R. (1992) - Mobilité en carrière: Plâtres Lambert à Corneilles-en-Parisis. pp. 44-45. Industrie Minérale Vol. 74, Mars 1992.
- DELFAU M. (1979) - Mémento substances utiles (matériaux de carrière). Gypse pour plâtre et ciment. Rapport BRGM 79 SGN 157 MTX.
- DUDA R. (1986) - La grande encyclopédie des minéraux. Gründ - Prague.
- FRANCONI A. (1990) - Les matériaux de carrière d'Ile-de-France. Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France.
- HARBEN P. (1991) - FGD and chemical gypsum. Waste product or commercial resource ? Industrial Minerals. Juillet 1991
- KOELTZ C. (1987) - Une entreprise de dimension européenne: la Société Mosellane d'Anhydrite. Industrie Minérale, Nov. 1987.
- MAUBERT F. (1987) - Mémento Roches et Minéraux Industriels. Le gypse et l'anhydrite. Rapport BRGM 87 SGN 587 GEO.
- MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES - Statistiques du Commerce extérieur de la France. (1985 à 1992).
- MINISTERE DE L'INDUSTRIE - Annuaire de statistiques industrielles 1989-1990.
- PLATRES LAFARGE - Plaquette de présentation. Janvier 1992.
- SPENCER C. (1990) - Mémento Roches et Minéraux Industriels. Matériaux pour ciment. Edition BRGM 1990, 51 pp.
- SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLATRE. (1991) - Cahiers Techniques: le plâtre abrite la vie.
- SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLATRE. (1993) - L'industrie du plâtre aujourd'hui.
- TRIAT J.M. (1982) - Pierres utiles de Provence. Cahiers de documentation. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille.