



mémento roches et minéraux industriels

le gypse et l'anhydrite

F. Maubert

septembre 1987
87 SGN 587 GEO

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Géologie Générale
Service Roches et Minéraux Industriels
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: 38.64.34.34

S O M M A I R E

1. GENERALITES	1
2. DONNEES ECONOMIQUES	1
2.1. Statistiques 1985	1
2.2. Place du gypse dans l'industrie extractive française	2
2.3. Prix	2
2.4. Répartition de la production française de gypse	5
2.5. Structure industrielle	5
2.6. Répartition de la production mondiale	7
3. GEOLOGIE	8
3.1. Genèse	8
3.2. Distribution des gisements dans le monde	10
3.3. Distribution des gisements français	10
4. SECTEURS D'UTILISATION DES SULFATES DE CALCIUM	17
4.1. Les plâtres	17
4.2. Les ciments	20
4.3. Les liants d'anhydrite	21
4.4. Utilisations du gypse et de l'anhydrite dans l'industrie chimique	22
4.5. Usages agricoles	22
4.6. Produits de charge	23
4.7. Industries alimentaires	23
4.8. Décoration	24
4.9. Autres industries consommatrices de sulfate de calcium	24

5. CRITERE DE SELECTION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES	24
5.1. Critère d'exploitabilité d'un gisement	24
5.2. Spécifications industrielles	26
6. PRODUITS DE SUBSTITUTION (LES GYPSES RESIDUAIRES ET DE SYNTHESE)	28
6.1. Origine et quantité	28
6.2. Possibilités de valorisation des phosphogypses	30
7. BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE	31

GYPSE ET ANHYDRITE

1 - GENERALITES

Le gypse et l'anhydrite sont des sulfates de calcium de formule chimique :

Gypse : $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$

Anhydrite : Ca SO_4

Ces minéraux, fréquemment associés se rencontrent communément dans la nature avec des formes, des structures et des couleurs très variables, liées aux conditions de genèse de la roche et les impuretés associées.

La France est un des premiers producteurs de gypse dans le monde et ses réserves géologiques en sulfate de calcium sont très importantes.

La production de gypse et d'anhydrite est principalement destinée à la fabrication du plâtre et du ciment mais les autres possibilités d'utilisation de ces substances sont nombreuses.

2 - DONNEES ECONOMIQUES

2.1 - Statistiques 1985

Pour 1985, la production française de gypse cru a été d'environ 5,3 millions/t représentant un chiffre d'affaire HT départ usine de 105 millions de francs. Les données relatives à l'anhydrite sont couvertes par le secret statistique.

TABLEAU 1

Produits	Production (t)	Livraisons à soi-même (t)	Livraisons à des tiers (t)	Chiffre d'affaires H.T. départ usine en 1 000 F
Gypse cru extrait 1985	5 286 300	3 204 600	2 104 200	105 195
dont :				
- Gypse cru utilisé pour la fabrication de plâtres	4 438 500	3 204 600	1 252 900	61 369
- Gypse cru utilisé pour d'autres usages (notamment ciments)	847 800	-	851 300	43 826

La production nationale a baissé de près de 20 % depuis 1980 et le chiffre d'affaire s'est accrue de plus de 32 % sur la même période.

La balance commerciale est nettement positive pour la France grâce à 1 million de tonnes d'exportation de gypse et d'anhydrite en 1985 (contre 28 000 t de produits importés).

La France exporte principalement vers le Benelux, la RFA et l'Europe du Nord.

2.2 - Place du gypse dans l'industrie extractive française

Le gypse représente environ 1 % du tonnage des matériaux de carrière exploités en France.

Parmi les 12 000 carrières recensées en 1982, la France comptait seulement une trentaine d'exploitations de gypse en activité. La surface de terrain gypsifère exploité annuellement est de l'ordre de 30 ha (contre 3500 ha pour l'ensemble des carrières).

Les industries du gypse, plâtre et produits en plâtre représentent 7,5 % du chiffre d'affaire et 6 % des effectifs de l'ensemble des branches des industries des carrières et des matériaux minéraux de construction.

Ces industries qui sont très automatisées emploient environ 4000 personnes mais fournissent de l'activité à plus de 8000 entreprises de plâtreries et autant d'artisans employant au total 70 000 à 80 000 plâtriers, plâtriers peintres, plâtriers maçons et plaquistes.

2.3 - Prix

Les prix français, départ carrière du matériau chargé sur camion varie pour les granularités courantes, entre 35 F/t et 60 F/t H.T.

Les prix les plus faibles sont pratiqués en région parisienne.

TABLEAU 2 - EVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DU CHIFFRE D'AFFAIRES

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Production totale de gypse cru x 1000 t	6491	6147	3849	5557	5439	5286
Evolution/1980	<u>100</u>	<u>94,6</u>	<u>90</u>	<u>85,6</u>	<u>83,7</u>	<u>81,4</u>
Gypse cru pour plâtre	5147	4840	4681	4456	4457	4439
%	<u>79,3</u>	<u>78,7</u>	<u>80</u>	<u>80,2</u>	<u>82</u>	<u>84</u>
dont						
Autres usages	1344	1307	1168	1101	978	848
%	<u>20,7</u>	<u>21,3</u>	<u>20</u>	<u>19,8</u>	<u>18</u>	<u>16</u>
Chiffre d'affaire HT départ usine x 1000 F	73338	86100	95634	94250	98863	105195
Evolution/1980	<u>100</u>	<u>108,5</u>	<u>120,5</u>	<u>118,8</u>	<u>124,6</u>	<u>132,3</u>

TABLEAU 3 - EVOLUTION DU COMMERCE EXTERIEUR

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Exportation (x 1000 t)	917	912	877	785	918	1062
Valeur (x 1000 F)	48169	56197	61144	57735	65452	79673
Importation (x 1000 t)	15,6	16	24,9	24,8	17,6	27,8
Valeur (x 1000 F)	1418	1670	2534	2726	2058	5678
Evolution tonnage exporté (indice 100 en 1980)	100	99,5	95,6	86	100,1	115,7
Evolution tonnage importé	100	102,5	159	158,6	112,7	177,8

2.4 - Répartition de la production française de gypse

Les carrières de la région parisienne produisent les deux tiers du gypse extrait en France.

L'essentiel de l'anhydrite provient du département de la Moselle ; le tableau n° 4 ne tient pas compte de ce produit.

TABLEAU 4 - REPARTITION DE LA PRODUCTION 1985

. Ile de France (Seine-et-Marne, Val d'Oise, Seine-St-Denis, Yvelines)	65 %
. Provence Côte d'Azur (Vaucluse, Bouches-du-Rhône, Alpes Maritimes)	16 %
. Franche-Comté et Lorraine (Jura et Moselle essentiellement)	1 %
. Aquitaine (Landes, Pyrénées-Atlantiques)	7 %
. Charentes	5 %
. Savoie	4 %
. Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon (Ariège, Pyrénées-Orientales, Aude, Haute-Garonne)	2 %

2.5 - Structure industrielle (Gypse et plâtre)

L'industrie du gypse et du plâtre est représentée par une profession concentrée, constituée de quelques firmes importantes. Les usines de transformation qui représentent des investissements très importants sont implantées à proximité immédiate des sites d'extractions : 90 % des carrières de gypse sont ouvertes dans des gisements exploités depuis le siècle dernier. Ce caractère est un élément de stabilité de la profession qui ne connaît pas la multiplication des petites exploitations temporaires ou dispersées. Les quatre principaux fabricants de plâtre et de produits en plâtre, dont certains sont affiliés aux grands groupes cimentiers, représentent 95 % de la production.

TABLEAU N°5

SOCIETES MEMBRES DU SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DU PLATRE

SOCIETES	GYPSE	POUDRE	CARREAUX	PLAQUES
- ANHYDRITE LORRAINE Route d'Elzange KOENIGSMACKER 57110 YUTZ Tél. 82.50.00.46	X			
- BERTOLLE FRERES 79/81, route de Paris 95400 VILLIERS le BEL Tél. 39.90.03.10	X	X		
- ETS BOUE ET FILS R.N. 117. MANE 31260 SALIES du SALAT Tél. 61.90.54.51	X			
- ESCOGYPSE R.P. 85 Rue Jean Jaurès 59410 ANZIN Tél. 27.46.47.39				X
- GIN FILS 16290 HIRSAC Tél : 45.96.91.14	X	X		
- LAMBERT INDUSTRIES Clam Ouest Clima Nord 2, rue Nouvelle 95240 CORMEILLES en PARISIS Tél : 39.78.81.90	X	X	X	
- STE PLACOPLATRE Boîte Postale 316 92506 RUEL MALMAISON Cédex Tél : 47.32.92.03				X
- PLATRE LAFARGE 5, avenue de l'Egalité Boîte postale 28 84800 L'ISLE SUR SORGUE Tél : 90.20.72.22	X	X	X	X
- STE DES PLATRES DE CHERVES 16370 CHERVES RICHEMONT		X		

SOCIETES	GYPSE	POUDRE	CARREAUX	PLAQUES	PRODUITS DIVERS
- STE DES PLATRES MODERNES Boîte Postale 2 40350 POUILLON Tél : 58-73.20.30	X	X	X		
- STE PREMAGO LES PETITES PIECES DU FRESNE 50480 SAINTE MERE L'EGLISE Tél. 33.41.44.59			X		
- PLATRIERES DE LORRAINE ET D'ALSACE 57920 KEDANGE SUR CANNER Tél : 83.83.52.48		X	X	X	
- S.A.M.C. PLATRES POLIET 21/23, rue des Ardennes 75019 PARIS Tél : 42.03.96.33	X	X	X		
- SEDAP 1, rue du Château 44000 NANTES Tél. 40.47.19.04					X
- STE DES PLATRIERES DE GROZON (S.P.G.) Boîte Postale 11 39800 POLIGNY Tél. 84.37.16.45	X	X	X		
- STE DES GYPSES DE MAURIENNE Boîte postale 11 39800 POLIGNY Tél : 84.37.16.45	X				
- SOGYCO CHAMPLANC 16370 CHERVES DE COGNAC Tél. 45.82.24.03	X				
- ETS VIEUJOT 11, rue Saint Paul 95230 SOISY SOUS MONTMORENCY Tél : 39.89.29.48		X	X		

- . Plâtre Lafarge rassemble le plus important potentiel de production européen :
 - . en 1982, le groupe exploitait neuf carrières, gérait douze usines de plâtre, neuf ateliers de carreau et 3 usines produisant des plaques de plâtre et des cloisons.
 - Plâtres Lafarge a également des intérêts en Espagne dans 2 sociétés (Epysa et Cogysa).
- . Lambert Industries est une filiale de Lambert Frères. Lambert industrie est implanté en région parisienne, dans le Nord, en Bretagne et dans l'Est avec ses filiales CLAM et PLA.

La filiale Isolava produit des carreaux en Belgique.

- . Placoplâtre est le premier producteur de plaques en plâtre. Il appartient au groupe britannique BPB (présent également en RFA, Benelux, Scandinavie, Canada, etc...). Sa filiale Plâtrières de Grozon, extrait du gypse dans le Jura, produit du plâtre et des carreaux mais son activité essentielle s'est développée dans la mise au point de produits et de techniques (cloison, isolation, revêtement...).
- . SAMC - plâtres et préfabriqués Poliet

La Société anonyme de matériel de construction (SAMC) appartient au Groupe POLIET et occupe le premier rang des producteurs de gypse en France. Quatre importantes carrières sont exploitées au voisinage de Paris et des filiales extraient du sulfate de calcium en Lorraine et dans les Landes.

SAMC dispose également d'exploitations en Espagne. L'usine de Vaujours est la plus importante unité européenne de carreaux de plâtre et de plâtre en poudre.

2.6 - Répartition de la production mondiale

Il n'existe pas de données statistiques précises sur les diverses productions nationales en sulfates de calcium. La production mondiale de gypse pour plâtre était estimées à 60 Mt en 1980.

Les réserves en gypse des USA sont estimés à 2000 ans d'exploitation au rythme de 10 millions de tonnes/an. Les réserves françaises connues sont estimées à 200 ans pour une production de 6,5 t/an.

TABLEAU 6

Pays	Gypse pour production de plâtre (1980)
Etats-Unis	13,5
France	4,5
RFA	3,5
Espagne	3,1
Grande Bretagne	2,5
Canada	0,9

3 - GEOLOGIE

Le gypse et l'anhydrite d'origine sédimentaire, constituent des roches salines appartenant à la famille des évaporites.

Le gypse est un minéral tendre (densité moyenne : 2 dans l'échelle de MOHS), soluble dans l'eau (2 g/l) de densité moyenne 2,3. L'anhydrite naturel est très peu soluble.

3.1 - Genèse

Les processus naturels de formation des gisements de gypse et d'anhydrite ne sont pas encore établis avec précision. Il semble toutefois, ne pas exister de théorie globale applicable à l'ensemble des gîtes.

L'hypothèse génétique la plus fréquemment admise pour de nombreux gisements est celle d'une précipitation directe de saumures concentrées par évaporation sous climat chaud et aride dans des zones lagunaires communiquant temporairement avec la mer.

Ce modèle explique la présence dans de nombreux gisements, d'autres minéraux évaporitiques et notamment des chlorures (NaCl, KCl, MgCl₂) mais aussi de la calcite.

Selon la température et la concentration des autres sels contenus dans la saumure, le sulfate de calcium précipite soit sous forme de dihydrate (gypse) soit sous forme anhydre (anhydrite).

Après leurs dépôts, les sulfates d'origine peuvent subir diverses modifications et en particulier :

- deshydratation du gypse (avec une réduction du volume de l'ordre de 50 %),
- rehydratation de l'anhydrite (avec une importante augmentation de volume qui se révèle sous la forme de couches sédimentaires très perturbées),
- échanges anioniques.

Ainsi, un gisement de sulfate de calcium constitue un **système dynamique** dans lequel les minéraux peuvent changer de composition, de forme et de place par le seul jeu des variations hydrométriques ou hydrologiques dans la formation. Il est par ailleurs vraisemblable que certains gisements datés du Tertiaire se sont formés à partir de la remobilisation de couches sulfatées initialement constituées au trias.

TABLEAU 7 - DISTRIBUTION DES PRINCIPAUX BASSINS GYPSIFERES

Périodes	Age en millions d'années	Exemple de gisements
Quaternaire	2	Ethiopie
Tertiaire	40	Italie, France, Inde
Crétacé	136	USA
Jurassique	190	Canada (Manitoba). Est de l'Afrique, Grande-Bretagne
Trias	225	Allemagne, France, Grande-Bretagne
Permien	280	URSS, RDA, Pologne, USA (Texas, Nouveau Mexique)
Carbonifère	345	Canada (Nouvelle Ecosse)
Dévonien	395	USA (Montana, Wyoming)
Silurien	435	Canada (Ontario)
Ordovicien	500	Canada (Colombie Britannique)
Cambrien	570	Pakistan, URSS

3.2 - Distribution des gisements dans le Monde

Les formations gypseuses sont largement distribuées dans tous les terrains sédimentaires du globe, mais les grands gisements restent localisés dans des niveaux géologiques précis. Généralement formés lors de période de calme tectonique et souvent associés à des complexes évaporitiques, le gypse est particulièrement présent :

- dans le Cambrien de la plate-forme sibérienne,
- dans le Silurien des Etats-Unis,
- au Permien notamment dans la grande région productrice de Stassfurt (RDA),
- dans les faciès germaniques du Trias,
- dans l'Eocène supérieur (Ludien) qui constitue notamment la période de dépôt du gypse du Bassin parisien.

3.3 - Distribution des gisements français

La France recèle divers gisements de sulfate de calcium d'importances inégales. Le gypse français est principalement exploité :

- . dans les formations permienes du Rouergue,
- . dans les terrains secondaires de la Moselle, du Jura, des Alpes, de la Provence et des Pyrénées,
- . dans le Tertiaire du Bassin parisien.

3.3.1 - Alsace, Lorraine (Trias)

Les gisements exploitables de l'Est de la France sont situés essentiellement dans le Keuper et se présentent principalement sous forme anhydre. En effet, le sulfate de calcium déposé est de l'anhydrite qui s'est réhydraté en surface (du gypse est exploitable jusque vers des profondeurs de 70 m). En Moselle de l'anhydrite est exploitée à Kédange et Koenigsmaker ; à Helling une carrière exploite simultanément gypse et anhydrite.

3.3.2 - Jura (Trias)

Le gypse se présente en gisements discontinus de Lons-le-Saunier jusqu'à Salins ; en profondeur il est associé à de l'anhydrite. Actuellement deux couches de gypse de 4 et 2 m de puissance sont exploitées en galeries à flanc de colline près de Grozon.

3.3.3 - Alpes (Trias)

En Savoie, plusieurs exploitations sont actives dans la région de St-Jean-de-Maurienne où l'on extrait un gypse très blanc. Le site le plus important est exploité à ciel ouvert. Le gisement présente des poches d'argiles et des zones d'hydratation incomplètes incluses dans le gypse.

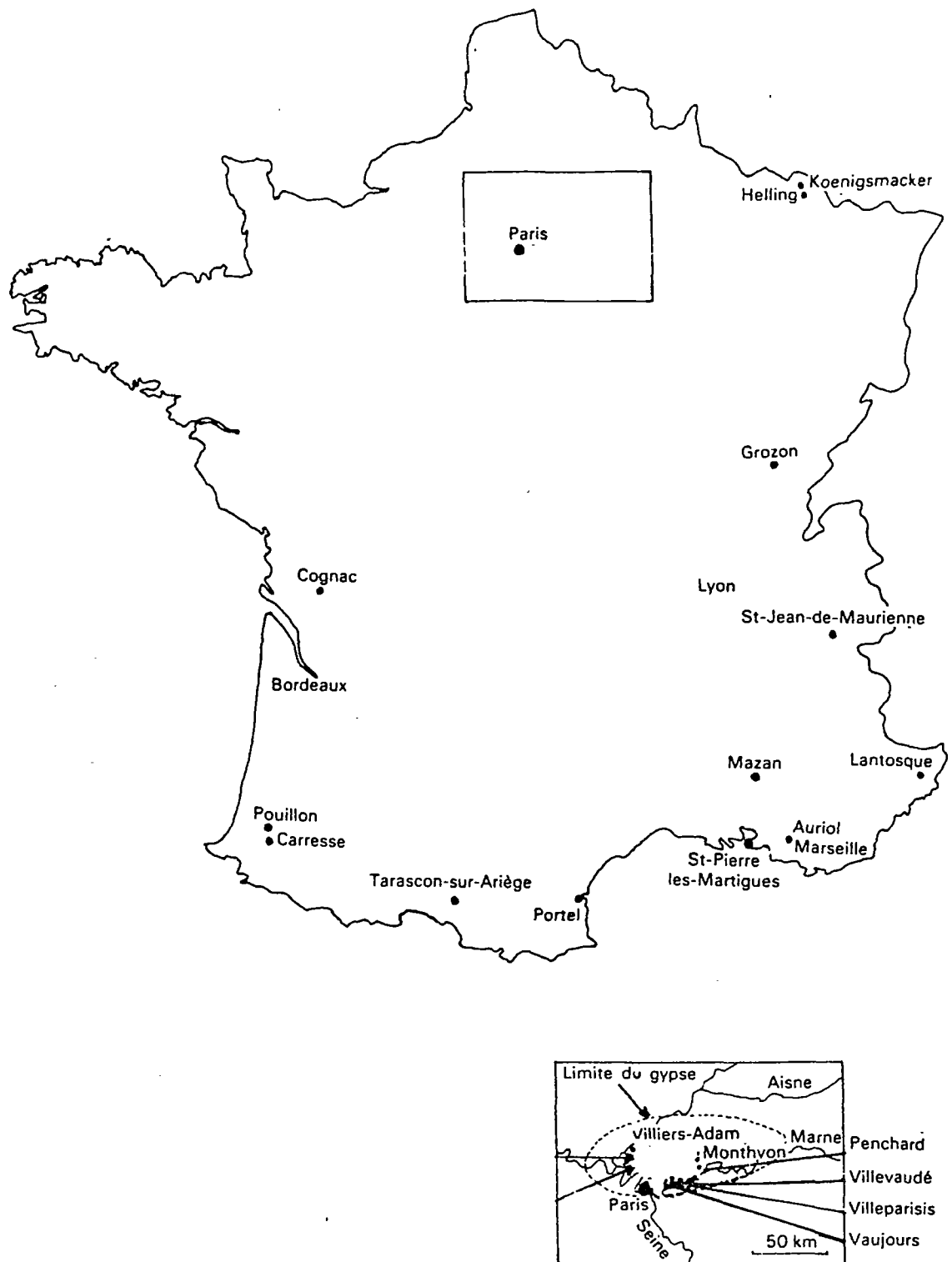


Figure 1 - Gisements gypsifères en France

3.3.4 - Provence (Trias)

Les gisements, comme dans les Alpes, ont été très remaniés par les mouvements alpins, et sont visibles à la faveur des vallées (Vésubie, Roya, Var, Tinée) ; les points actuels d'extraction se situent à Lantosque (06) et Auriol (13).

3.3.5 - Sud-Ouest (Trias-Oligocène)

En bordure nord de la chaîne pyrénéenne, divers gisements d'inégale importance sont exploités. Les gisements de présentent en général sous forme de diapir ou en injection dans des failles.

Le gisement de gypse de Tarascon-sur-Ariège (09) constitue l'enveloppe d'un noyau d'anhydrite intercalé dans les marnes triasiques.

A Carresse (64), une couche de gypse du Keuper de 15 m de puissance est exploitée sous un recouvrement de 15 à 25 m.

Le gypse du Keuper est également exploité à Pouillan dans les Landes. Il s'agit d'un vaste dôme diapirique dont les couches exploitables se présentent sous la forme d'amas intercalés dans une matrice argileuse. Les réserves de ce gisement sont estimées à 100 millions de tonnes.

Le gisement de PORTEL (11), d'âge Oligocène se présente sous forme d'une couche de gypse de 10 à 15 m de puissance interrompue de minces lits marneux et exploitée en galeries.

3.3.6 - Charente (Jurassique supérieur)

Les gisements affleurent dans l'anticlinal de Gémozac, aux environs de Matha et se prolongent en Charente-Maritime (St-Hilaire, Moulidars).

De nos jours le gypse est exploité à Champblanc (Cherves-de-Cognac) à ciel ouvert (3 bancs de gypse de 0,75, 1,25 et 2,50 m d'épaisseur séparés par des bancs marneux).

3.3.7 - Bassin de Paris (Eocène supérieur)

Le Bassin de Paris est le principal centre français de production de gypse. Le gypse daté du Ludien (Bartonien supérieur) est saccharoïde, compact, homogène et pauvre en impuretés. Qualitativement et quantitativement, les meilleurs gisements se localisent au centre du bassin.

Le gisement se présente sous la forme de quatre couches de gypse appelées "masses" séparées par des niveaux marneux.

Seules les deux masses supérieures de gypse sont normalement exploitées. La première et la plus élevée stratigraphiquement montre une puissance de l'ordre de 15-20 m, la seconde présente une épaisseur de l'ordre de 7 m. Les exploitations sont menées soit à ciel ouvert, soit par galeries souterraines. Une importante quantité de gypse a été extraite autrefois des couches situées dans le sous-sol même de Paris.

Les gisements de l'Ile de France se situent dans des buttes témoins épargnées par l'érosion. Parmi les buttes gypsifères de la région parisienne, il convient de distinguer :

- celles dont l'exploitation est achevée,
- celles qui sont en cours d'exploitation,
- celles qui n'ont pas encore été exploitées.

TABLEAU 8

Exploitation	Département(s) concerné(s)	Nom des Buttes (B)
achevée	. Yvelines : . Yvelines et Val d'Oise : . Val d'Oise : . Seine-et-Marne : . Seine :	B. de Bures B. de l'Hautil B d'Ecouen et de Pierrefitte B. de Cregy-les-Meaux et d'Esblly B. Montmartre
en cours	. Val d'Oise : . Seine-et-Marne : . Seine-et-Marne et . Seine-St-Denis : . Val d'Oise :	B. de Montmorency B. de Corneilles-en-Parisis B. de Gagny à Dampart B. de Marines B. de Corneilles-en-Vexin B. de Carnelle B. de l'Isle-Adam B. de Mareil-en-France B. de Chatenay
non commencée (ou négligeable)	. Val d'Oise, Oise et . Seine-et-Marne . Seine-et-Marne	B. de Dammartin-en-Goele B. de Montge B. du Bois d'Automne B. de Quincy-Voisins à Saint-Jean-les-deux-Jumeaux

Il faut citer également d'autres gisements situés dans la partie Est du bassin : butte de Signy-Jouarre-Saint-Ouen sur Morin, butte de Bussièrès, butte de Nanteuil, butte de Reuil-en-Brie, Cocherel, Vendrest. Toutefois, compte tenu de la qualité médiocre du gypse, les exploitants n'envisagent pas d'exploiter ces gisements.

En région parisienne, une faible partie de la ressource géologique a été exploitée jusqu'à présent. Sur une extension de terrain gypsifère supérieure à 25 000 ha, environ 1700 ha de carrière ont été ou sont en cours d'exploitation soit environ 7 %.

Les contraintes d'environnement sont particulièrement fortes : plus de 60 % des réserves géologiquement exploitables sont d'ores et déjà stérilisées par l'urbanisation.

3.3.8 - Vaucluse, Bouches-du-Rhône (Oligocène)

Le Vaucluse recèle un gisement d'importance considérable (puissance supérieure à 100 m pour 70 à 90 m de recouvrement à Mazan). Les réserves sont estimées à 400 millions de tonnes.

Le gisement de St-Pierre-les-Martigues (13) situé entre l'étang de Berre et la mer constitue un dépôt de 60 m d'épaisseur, à fort pendage, s'étendant sur plusieurs kilomètres. Le gypse est dur et saccharoïde et constitue des bancs d'au moins 1 m d'épaisseur séparés par des marnes.

TABEAU 9
INVENTAIRE NATIONAL DES CARRIERES DE GYPSE ET D'ANHYDRITE (1984)

DEPARTEMENT	COMMUNE	EXPLOITANT	SUBSTANCE	MODE D'EXPLOITATION	PRODUCTION DU DEPARTEMENT
Alpes Maritimes (06)	LANTOSQUE	Plâtres LAFARGE	G	expt. mixte	98 900 t
	SOSPEL	Plâtres VERAN COSTAMAGNA	G		
Ariège (09)	ARIGNAC	Plâtrières de France	G+A		153 000 t
	BETCHAT	Gravières de MARTES TOLO	G		
	PRAT-ET-BONREPAUX	BOUE et Fils	G		
	SURBA	Platrière de France	G		
Aude (11)	PORTEL	Plâtres LAFARGE	G	souterraine	ST
Bouches-du-Rhône (13)	AURIOL	Plâtres LAFARGE	G	expl. mixte	ST
	ST-PIERRE-LES-MARTIGUES	Plâtres LAFARGE	G	souterraine	
Charente (16)	CHERVES-RICHEMONT	SO GY CO	G	272 000 t	
	MOULIDARS	Gin PIERRE	G		
Jura (39)	BUVILLY	Plâtrières modernes de GROZON	G	souterraine	ST
Landes (40)	POUILLON	Les Plâtres modernes	G	ciel ouvert	ST
Moselle (57)	FAULQUEMONT	Société Mosellane d'anhydrite	A	souterraine	91 000 t
	INGLANGE	SA L'Anhydrite Lorraine	A	souterraine	
	KOENIGSMACKER	"	A	souterraine	
	VECRING	"	A	souterraine	
Pyrénées atlantiques (64)	CARESSE-CASSABER	Plâtrières de France	G	exp. mixte	ST
Pyrénées orientales (66)	LESQUERDE	Société L. BOURNET	G		ST
Haute-Saône (70)	VELLECHEVREUX et COURBENANS	D'ORIGNY S.A.	G		ST

Savoie (73)	FONTCOUVERTE	ROSSAT VICRORIN	G		282 000 t
	FONTCOUVERTE	SAMBUIS EUGENE	G		
	ST-JEAN-DE-MAURIENNE	Les Plâtrières modernes de Grozon	G		
	ST-JEAN-DE-MAURIENNE	SA Gypse de Maurienne	G		
	ST-MARTIN-DE-LA-PORTE	Cie Industrielle et Minière	G		
	St-PANCRACE	SA Gypse de Maurienne	G		
	St-PANCRACE	MOTTARD P et F.	G		
Seine-et-Marne (77)	MONTHYON	SALSI	G		119 000 t
	PENCHARD	SA M C	G	souterraine	
	LE PIN	Plâtrières de France	G		
	VILLE PARISIS	LAMBERT Industrie	G	ciel ouvert	
Vaucluse (84)	BEAUMES-de-VENISE	Société Ciments Français	G		592 000 t
	MALEMORT DU COMTAT	SA Plâtrières de Vaucluse	G		
Seine-St-Denis (93)	Clichy-sous-Bois	AUBRY PACHOT SA	G		649 000 t
	VAUJOURS	SAMC	G	ciel ouvert	
Val d'Oise (95)	Cormeilles-en-en-Paris	Soc. LAMBERT Industrie	G	ciel ouvert	164 000 t
	Taverny	SAMC	G	souterraine	
	Villiers Adam	Soc. Plâtres LAFARGE	G		

4 - SECTEURS D'UTILISATION DES SULFATES DE CALCIUM

Les applications industrielles du gypse et de l'anhydrite sont nombreuses. Mais la fabrication du plâtre et du ciment absorbe la plus grande partie de la production française de gypse naturel (environ 80 %).

Pour l'ensemble du monde, on peut estimer que les utilisations du gypse et de l'anhydrite se répartissent de la façon suivante (tableau 10).

TABLEAU 10

Plâtre et produits en plâtre	45 %
Ciment	45 %
Amendements et correction des sols	4 %
Acide sulfurique et sulfate d'ammonium	4 %
Autres usages	2 %

En France, 18 à 20 % de la production de gypse est destinée aux cimenteries et 78 à 80 % aux usines de plâtre, les autres applications industrielles sont donc très peu développées.

4.1 - Les Plâtres

Dans son principe, la fabrication du plâtre peut apparaître comme une opération relativement simple. Elle a cependant dans la pratique des implications complexes qui mettent en jeu des phénomènes difficiles à maîtriser. Ainsi les impuretés contenues dans le gypse en très faible quantité ont souvent une influence très importante sur les transformations cristallines et sur les propriétés des produits fabriqués.

4.1.1 - Principe de fabrication du plâtre

Le gypse est un sulfate de calcium hydraté avec 2 molécules d'eau. Par décomposition thermique (cuisson) il conduit à une série de produits partiellement hydratés ou anhydres qui sont la base des plâtres.

Aux environ de 100°C, on obtient les semi-hydrates α ou β = $\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$ (selon que l'on opère respectivement sous pression de vapeur d'eau ou à l'air libre).

Vers 200°, 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 350°, l'anhydrite III se transforme en anhydrite II stable (surcuit) qui peut se rehydrater lentement au contact d'H₂O liquide. Vers 123°C, l'anhydrite II se transforme en anhydrite I qui se rehydrate très difficilement.

Le plâtre est un mélange en proportion variable de semi-hydrates, d'anhydrite soluble et d'anhydrite insoluble.

Additionné d'eau, ce mélange fait prise en s'hydratant pour redonner un produit ayant la composition du gypse dont la cristallisation en aiguilles enchevêtrées procure différentes propriétés (thermiques, acoustiques, résistance mécanique...). Les différentes phases de la fabrication du plâtre sont les suivantes :

. Concassage-criblage :

En raison de la pureté des gypses naturels français, celui-ci ne subit pas de traitements préparatoire particulier à l'exception parfois un séchage. A l'étranger, on emploie parfois des méthodes telles que la flottation ou la lixiviation destinée à éliminer les impuretés.

Cette opération est destinée à produire des fragments de gypse dans les granulométries inférieures à 25 mm.

. Cuisson :

Il existe deux principaux type de cuisson :

- la cuisson par voie sèche qui conduit à la fabrication de la majorité des plâtre d'utilisation courante dont les bases sont l'hémihydrate β et le surcuit,
- la cuisson par voie humide qui s'opère sous pression de vapeur d'eau saturante dans des autoclaves ou à pression atmosphérique mais dans des solutions salines à point d'ébullition supérieur à 100°C. Ce dernier système conduit à l'élaboration de l'hémihydrate α qui est la base des plâtres spéciaux pour moulage (synthèse dentaire, moulage de précision...).

. Traitement après cuisson

Après cuisson, les produits subissent des traitements destinés à préparer les différentes catégories de plâtres : plâtre à mouler, plâtre de construction ou de préfabrication. Il s'agit des opérations de refroidissement, de broyage, de mélange, de silotage.

. Conditionnement

Le plâtre est livré soit en sac (en général par paquet de 40 kg) soit en vrac au moyen de camions citernes ou de wagons-citernes.

TABLEAU 11
LES DIFFERENTES PHASES DU SYSTEME $\text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ET LEURS
CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES
(d'après Wirsching)

Phase	$\text{CaSO}_4, 2 \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$ forme α	$\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$ forme β	CaSO_4 III	CaSO_4 II
Désignation	Sulfate de chaux dihydraté, gypse "pierre à plâtre"	Sulfates de chaux semihydratés Semihydrate plâtre α Semihydrate plâtre β		Sulfates de chaux anhydres anhydrite soluble anhydrite III	anhydrite naturel 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 - 45,8
Système cristallin	monoclinique	rhomboédriques		hexagonal	rhomboédriques
Indices de réfraction	n 1521 n 1523 n 1530	1 559 1 559 1 584		1 501 1 501 1 546	1 570 1 576 1 614
Stabilité	stable	métastables		métastable	stable
Préparation		voie humide	voie sèche		

4.1.2 - Les emplois du plâtre

En jouant sur le choix du gisement, les modes de cuisson, de broyage et en incorporant éventuellement les agents modificateurs de prise, de viscosité, le fabricant peut élaborer des produits assez différenciés correspondant à l'une des nombreuses possibilités d'utilisation du plâtre. Les différentes familles de plâtre sont les suivantes :

- les enduits traditionnels pour le bâtiment,
- les enduits spéciaux pyro-résistants,
- les plâtres pour éléments préfabriqués (panneaux, plaques, carreaux pour cloison, plafond, isolation, décoration, etc.).
Les qualités des éléments en plâtres (isolation acoustique et thermique, régulation hygrométrique de l'air) facilitent la mise en oeuvre, et en font des matériaux privilégiés pour l'utilisation dans de nombreux domaines de la construction.
- les liants de montage ou de finition (colle d'assemblage ou de bourrage, joints, etc..),
- les plâtres à mouler pour staff,
- les plâtres pour stuc,
- les plâtres pour l'industrie céramique (en particulier moules de coulage),
- les plâtres médicaux pour l'art dentaire ou les bandes chirurgicales.

4.2 - Les ciments

Le principal constituant de fabrication du ciment est le clinker.

Ce produit est obtenu par cuisson de mélanges de calcaire et d'argile dans des fours industriels à des températures d'environ 1500°C.

Les sulfates de calcium mélangés au clinker ont une action retardatrice sur la prise du ciment. Dans la limite d'une teneur de 2 %, le gypse augmente également la résistance du ciment.

Les ciments Portland actuels sont constitués de clinker finement broyés additionnés d'environ 4 à 5 % 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 s'employer au même titre que le gypse pour régulariser la prise des ciments mais les dosages en SO_3 doivent être supérieurs. Il est parfois préférable d'employer l'anhydrite notamment dans le cas de broyage à chaud où la transformation du gypse ou semi hydrate risque de provoquer des phénomènes de "fausse prise" du ciment.

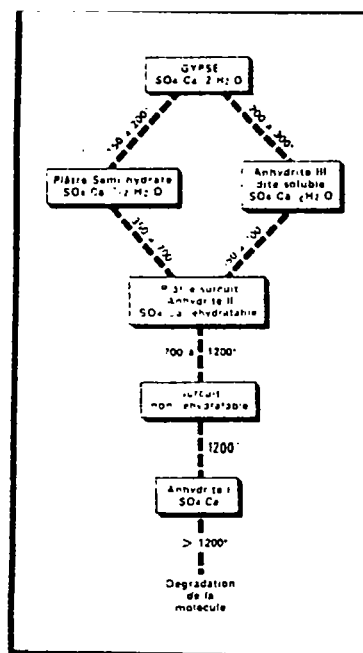


Figure 2

Certains ciments destinés à des ouvrages spéciaux (tunnels en terrains gypseux, ouvrages d'art sous eau de mer) admettent jusqu'à 15 à 18 % de sulfate de calcium.

Ce sont des ciments sursulfatés dont la composition est sensiblement la suivante :

- laitier broyé : 80 %
- ciment portland : 5 %
- sulfate de calcium : 15 %

Ce mélange permet des réactions chimiques qui favorisent le durcissement extérieur du liant.

Les cimenteries exigent des gypses et anhydrites ayant une teneur minimale de 36 % en SO_3 et exempts d'impuretés susceptibles d'avoir une action sur la prise du ciment.

4.3 - Les liants d'anhydrite

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

La plupart des fabrications de produits à partir de liants d'anhydrite ont été abandonnées. Les liants à bases d'anhydrite sont utilisés en Allemagne pour la réalisation de chape de revêtement de sol. Employés comme mortier, ces liants sont d'une grande dureté. Ils sont en particulier résistants à la pression lithostatique et sont utilisés comme mur de sécurité dans les galeries de mine à risque d'incendie ou d'explosion.

4.4 - Utilisation du gypse et de l'anhydrite dans l'industrie chimique

Les sulfates de calcium naturel ou artificiel peuvent être utilisés comme matière première pour la fabrication de nombreux produits d'application industrielle et en particulier :

4.4.1 - Fabrication du sulfure de calcium et soufre

Le sulfure de calcium (CaS) s'obtient par réduction du sulfate de calcium par le carbone à haute température.

L'attaque par acide chloridique de CaS conduit à des formations d'hydrogène sulfuré H_2S .

H_2S peut ensuite être transformé en soufre soit par oxydation à l'air soit par grillage. Ces procédés rentables en période de pénurie de soufre ont été abandonnés.

4.4.2 - Fabrication d'acide sulfurique

Cette opération peut être rentable dans la mesure où il est possible de combiner la fabrication d'acide sulfurique et de clinker. Plusieurs usines fonctionnent dans le monde selon ce procédé en utilisant de l'anhydrite naturelle.

4.4.3 - Fabrication du sulfate d'ammonium

Le sulfate d'ammonium est habituellement préparé par neutralisation directe de l'ammoniac par H_2SO_4 .

Le gypse ou l'anhydrite peut servir de produit de substitution pour les pays pauvres en matières premières sulfurées.

4.5 - Usages agricoles

Les épandages de gypse sur les terrains agricoles peuvent présenter divers avantages agronomiques : corrections des sols salins ou alcalins, apport de calcium et de soufre.

4.5.1 - Correction des sols salins ou alcalins

Ces sols salins se rencontrent dans les régions de climat aride ou semi-aride. Ces sols alcalins se trouvent dans les dépôts qui subissent les effets chimiques du voisinage de la mer (zone estuarienne ou inondable...). Le sodium a une action corrosive sur les plantes et crée des sols où les argiles apparaissent sous forme de mottes. Le gypse en solution remplace les cations Na^{++} par Ca^{++} et permet aux argiles de flocculer et favorise ainsi une aération du sol bénéfique aux cultures.

L'apport de gypse réduit l'alcalinité du sol et augmente la teneur en calcium assimilable par les plantes.

4.5.2 - Corrections des sols acides

Selon certains agronomes, lorsque du gypse est épandu sur sol acide, SO_4^{--} est absorbé par les végétaux tandis que le calcium libre neutralise l'acidité du sol. Cette théorie reste toutefois contestée.

4.5.3 - Amendement de sols et engrais

Le gypse est utilisé pour combattre les carences en soufre (culture du tabac) et en calcium.

L'apport d'amendement sulfaté est également bénéfique pour certaines cultures (légumineuses, vigne).

Le sulfate de calcium entre pour 50 % dans la composition des engrais aux superphosphates. Le gypse permet de conserver la teneur en azote des fumures organiques en éliminant les bactéries dénitrifiantes.

4.6 - Produits de charge

Le caractère neutre et inerte du gypse ainsi que sa blancheur et sa capacité à être broyé finement en font un matériau qui peut s'utiliser comme produit de charge dans certaines fabrications :

- peintures, colles,
- papiers,
- tissus,
- poudres insecticides.

L'anhydrite broyée peut également s'employer comme charge :

- avec les bitumes pour les revêtements routiers,
- dans les cartons bitumés,

ainsi qu'en remplacement du gypse dans les papiers et peintures.

4.7 - Industries alimentaires

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

Le gypse broyé est également employé dans la préparation de nourritures pour le bétail. Il combat le manque de soufre et évite l'utilisation de matières azotées pour améliorer les fourrages de mauvaise qualité.

4.8 - Décoration

L'albâtre est le nom donné au gypse massif, il est utilisé comme pierre de décoration. L'équivalent anhydre de ce matériau est la volponite. L'albâtre très pur est translucide, il se prête bien à la confection de statues ou d'objets décoratifs. Lorsqu'il est impur, l'albâtre présente des veinages colorés semblables à ceux du marbre qu'il peut parfois remplacer en décoration.

4.9 - Autres industries consommatrices de sulfate de calcium

En verrerie, le gypse ou l'anhydrite ajouté au mélange verrier en fusion facilite les dégagements gazeux.

Broyé très finement (ou sous forme de plâtre), le gypse s'emploie pour constituer le lit de polissage des glaces et des pierres précieuses ou ornementales.

Le gypse broyé est également utilisé dans diverses industries et en particulier :

- clarification des eaux troubles,
- raffinage des huiles,
- polissage de certains métaux (étain).

Il entre dans le procédé de fabrication de certains produits tels que boues de forage, crayons, gommes, produits pharmaceutiques...

5 - CRITERE DE SELECTION ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

5.1 - Critère d'exploitabilité d'un gisement

Quand ils sont purs, le gypse et l'anhydrite ont la composition suivante :

	CaO	SO ₃	H ₂ O
Gypse	32,6 %	46,5 %	20,9 %
Anhydrite	41,2 %	58,8 %	-

Dans la nature, les formations exploitées pour leur gypse renferment toujours des impuretés dont les plus fréquentes sont : argile, calcaire, dolomie, silice...

D'après la norme JCPDS* "aucun matériau ne peut être considéré comme gypse s'il contient moins de 70,0 % en poids de CaSO₄ 2H₂O".

* JCPDS : Joint Committee on Powder Diffraction Standard

En France, les gisements exploités comportent un minimum de 75 % de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sud du pays) ; les gisements considérés comme de qualité exceptionnelle en renferment de 90 à 97 % (Bassin de Paris).

La qualité du gisement ne doit pas varier trop brusquement de manière à permettre une homogénéisation appropriée. Quelques impuretés comme des marnes peuvent être intéressantes en petite quantité pour l'élaboration de certains produits mais les sels solubles comme les chlorures, ou le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium doivent demeurer en-dessous d'un minimum très faible.

5.1.2 - Conditions d'exploitation

. Exploitation en souterrain

Les principaux facteurs qui déterminent la décision de mener une exploitation à ciel ouvert ou souterraine sont :

- l'épaisseur des terrains de couverture,
- l'épaisseur des couches sulfatées,
- les caractéristiques de l'encaissant.

Dans les gisements de gypse, une exploitation à ciel ouvert devient difficilement rentable, lorsqu'une couche est surmontée de terrains stériles atteignant 4 à 5 fois son épaisseur.

Dans certains cas, la valorisation des terrains de couvertures permet d'augmenter la rentabilité des méthodes d'extraction à ciel ouvert.

Techniquement, il est possible d'exploiter des couches de 1,6 m de puissance mais le coût d'exploitation devient très élevé.

La couche à exploiter doit être continue, le mur et le toit doivent être suffisamment résistants pour tenir la couronne et supporter le passage des engins d'extraction ou de transport.

Par ailleurs, des travaux souterrains peuvent permettre une exploitation dans une zone d'environnement sensible et réduire les coûts des travaux de remise en état de site qui constitue une obligation réglementaire pour l'exploitant.

La technique d'exploitation souterraine la plus fréquemment employée est celle des chambres et piliers abandonnés. Cette méthode consiste à tracer dans la couche gypsifère, des galeries parallèles équidistantes suivant deux directions généralement perpendiculaires.

En fin d'exploitation, il ne subsiste dans les quartiers de production que les piliers destinés à supporter les terrains sus-jacents.

Parmi les avantages de l'exploitation en souterrain, il faut citer :

- exploitation possible en toute saison (pas d'arrêt pour cause d'intempérie),
- fourniture permanent d'un gypse peu humide,
- bonne sélectivité du produit à l'abattage.

Par contre, ce mode d'extraction présente divers inconvénients :

- taux de récupération des réserves relativement faibles (40 à 70 %),
- consommation plus importante d'explosif à la tonne extraite,
- contraintes techniques et économiques souvent élevées (aérage, surveillance, purgeage, confortement, foudroyage...).

. Exploitation à ciel ouvert

Les moyens d'exploitation dépendent des conditions de gisement (nature et géométrie des couches, épaisseur des bancs, etc...).

Les carrières sont en général exploitées en gradins. Les stériles servent le plus souvent à remblayer les vides laissés en arrière des fronts. Dans le gypse tendre, le matériau peut être arraché au boteur dans le gypse dur, l'abattage se fait à l'explosif. Les volées réalisées consomment en général très peu d'explosif (de l'ordre de 100 g/t de gypse).

5.2 - Spécifications industrielles

5.2.1 - Plâtrerie

- teneur en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La norme NF - B 12-301 sur les plâtres de construction précise : "le degré de pureté caractérisé par la teneur en sulfate de calcium doit correspondre à une teneur en $\text{SO}_3 > 40 \%$ ".

Ce taux de $\text{SO}_3 > 40 \%$ correspond à un gypse pur à 85 % minimum.

Les impuretés les plus nuisibles sont :

$\text{MgO} \leq 2 \%$

$\text{K}_2\text{O} \leq 0,1 \%$

$\text{Na}_2\text{O} \leq 0,02 \%$

Les plâtres pour céramique (fabrication de moules) font appel à des gypses de qualité exceptionnelle ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \geq 90 \%$).

- granularité avant cuisson

Un gypse monogranulaire serait idéal pour assurer, lors de la cuisson, une vitesse de diffusion de la chaleur identique pour tous les grains. Une telle préparation est impossible cependant.

Les qualités marchandes de gypse pour plâtre, obtenues par concassage du brut, se présentent sous forme de fraction 0/8 mm. De plus on s'attache à obtenir des granularités aussi précises que possible.

5.2.2 - Cimenterie

- teneur en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La nouvelle norme NF - P 15 - 301 sur les liants hydrauliques impose que les ajouts de sulfate de calcium, sous forme de gypse (éventuellement d'anhydrite) effectués lors des opérations de broyage du clinker doivent être tels que :

- . SO_3 total < 5 % pour le ciment de laitier au clinker
- . SO_3 total < 4 % pour les autres ciments

Le gypse utilisé devra comporter : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} > 75 \%$

En cas d'utilisation d'anhydrite : $\text{CaSO}_4 > 60 \%$

- granularité

En règle générale, la fraction utilisée est du 8/50 mm avec moins de 20 % d'inférieur à 8 mm.

5.2.3 - Agriculture

- pureté : gypse pur à 50 %
- granularité : 0/2 mm

5.2.4 - Usages divers

En verrerie, la granularité imposée est : 0/2 mm avec moins de 3 % de refus à 2 mm.

Le gypse utilisé comme charge doit être très blanc et micronisé (dimension < 100 μm).

6 - PRODUITS DE SUBSTITUTION (LES GYPSES RESIDUAIRES ET DE SYNTHESES)

6.1 - Origine et quantité

Le phosphogypse est un sous-produit de l'industrie des engrais phosphatés. En effet, l'acide phosphorique, nécessaire à la fabrication d'engrais riches, 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, du gypse, que l'on sépare par passages sur des filtres. La matière résiduelle n'ayant pas traversé le filtre constitue le phosphogypse brut. Elle contient du gypse, mais on y retrouve également des impuretés, telles que le fluorure de calcium et des matières organiques provenant du phosphate naturel.

La synthèse d'une tonne d'acide phosphorique produit 5 tonnes de phosphogypse.

La capacité de production française est de 7 millions de tonnes de phosphogypse. Plusieurs autres branches de l'industrie chimique minérale utilisent l'attaque sulfurique d'un sel de calcium qui conduisent à la production de sous-produits (cf. tableau 12).

TABEAU 12

Sous-produits de l'Industrie chimique

Produit fabriqué	Sous-produit résultant
acide borique	borogypse
acide fluorhydrique	fluoranhidre
pigments de titane	titanogypse
acides citriques et tartriques	citrogypse

La désulfuration des fumées de combustion des fiouls et des charbons conduit également à la production de gypse résiduaire.

Le principe de base consiste à oxyder les fumées sulfurées puis à absorber SO_2 dans une solution d'acide sulfurique ou de sulfate d'ammonium qui produit du gypse après neutralisation au CaCO_3 .

Ce procédé est particulièrement développé au Japon (pays déficitaire en gypse naturel) mais aussi en RFA en raison du grand nombre de centrales thermiques afin de protéger l'environnement des "pluies acides".

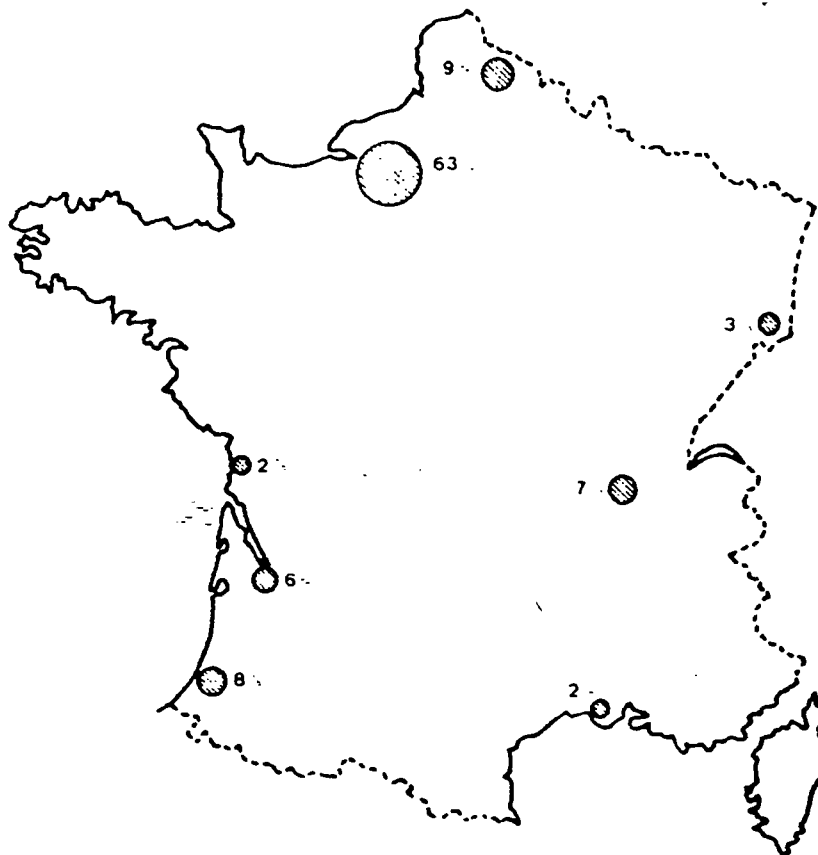


Figure 3 - Production de phosphogypse en France

La production française de phosphogypse se répartit de la façon suivante :

- 63 % dans le Nord-Ouest (Rouen - Le Havre),
- 9 % dans le Nord (Wattrelos),
- 8 % dans les Landes (Boucau - Bayonne),
- 7 % dans la région lyonnaise (Les Roches-de-Condrieu),
- 6 % dans la région de Bordeaux,
- 3 % en Alsace (Ottmarsheim),
- 2 % en Charente,
- 2 % dans la région de Sète.

Ces sous-produits posent en général un problème de pollution par leur aspect quantitatif et au minimum, un problème d'évacuation.

De nombreuses sociétés, tant en France qu'à l'étranger, et surtout au Japon, ont étudié la possibilité de réutiliser, et de valoriser, ces sous-produits, essentiellement le phosphogypse et le gypse de désulfuration.

6.2 - Possibilités de valorisation des phosphogypses

6.2.1 - Industries du plâtre

Le plâtre constitue la principale possibilité de valorisation du phosphogypse mais il est nécessaire dans la plupart des cas de soumettre le phosphogypse à des traitements préalables :

- . élimination ou transformation des impuretés solubles ou insolubles (neutralisation, flottation, hydrocyclonage, filtration, etc...),
- . séchage/calcination,
- . conditionnement en fonction de ses applications.

L'emploi de phosphogypse ne peut actuellement s'envisager en France que pour l'obtention de certaines catégories de plâtre (en particulier, les plâtres pour préfabrication) en raison :

- . des caractéristiques de finesse (qui rendent difficiles la mise en oeuvre dans le cas de plâtre à enduit),
- . de la coloration,
- . des caractéristiques de prise qui nécessitent l'emploi d'adjuvants coûteux.

De plus, l'énergie nécessaire à la fabrication du plâtre artificiel est double de celle consommée dans le cas du gypse naturel.

6.2.2 - Autres utilisations du phosphogypse

Les autres domaines de valorisation des phosphogypses sont les suivantes :

- le gypsage du ciment (développé industriellement dans de nombreux pays), cf. 4.2,
- les travaux publics, principalement comme catalyseur de prise de liants pouzzolaniques en assise routière,
- le compactage (phosphogypse purifié, avec plâtre ou liant hydraulique) pour obtention d'objets préfabriqués (parpaings, hourdis, bloc, etc...),
- les charges pour le papier,
- la lutte contre l'aridité des sols dans certains pays, notamment en Afrique. Cette opération consiste à déplacer le sel de mer déposé sur les sols salés par le gypse. Les ions chlorures sont ainsi progressivement remplacés par des ions sulfates, permettant d'éliminer le chlorure nocif et d'apporter du soufre.

Enfin, d'une façon générale, tous ces gypses résiduels peuvent faire l'objet d'un traitement de récupération de l'ion SO_4 pour redonner de l'acide sulfurique et du clinker de ciment par action de la silice et du charbon à haute température (cf. § 4).

7 - BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

Carrières et Matériaux n° 205, (1982) - Radioscopie de l'industrie du Plâtre en France.

DALIGAND D. (1985) - L'exploitation du gypse en France. Industrie minérale, Nov. 1985.

DELFAU M. (1979) - Etude documentaire sur les gisements de gypse français. Rapport BRGM, 74 SGN 071 BSS.

DELFAU M. (1979) - Mémento substances utiles (matériaux de carrière) gypse pour plâtre et ciment. Rapport BRGM 79 SGN 157 MTX.

UNICEM Ile-de-France (1980) - L'exploitation du gypse en Ile-de-France, effets sur l'environnement, réserves exploitables et gisements à protéger.

Syndicat National des Industries du Plâtre, 1982. Le plâtre. Physicochimie, fabrication emplois.

Statistiques annuelles (1985) - de l'UNICEM.

NORMES FRANCAISES

- NF-B 12 - 301 - Plâtres de construction - août 1963

- NF-P 15 - 301 - Liants hydrauliques - Définition, classification et spécifications des ciments - décembre 1978.

1978 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, PART 13 :

- C 22 - 77	- Standard specification for gypsum
- C 28 - 76 a	- Standard specification for gypsum plasters
- C 59 - 76	- Standard specification for gypsum casting and molding plaster.