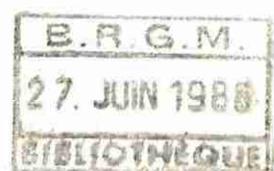




mémento roches et minéraux industriels

les calcaires, craies, marbres et produits
dérivés à usage industriel et agricole





mémento roches et minéraux industriels

les calcaires, craies, marbres et produits
dérivés à usage industriel et agricole

P. Marteau

avec la collaboration de
M. Grès

mai 1988
88 SGN 355 GEO

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

INTRODUCTION	03
1 - ECONOMIE ET MARCHE	04
1.1. - Production nationale et échanges commerciaux	04
1.2. - Répartition de la production ; données économiques	06
1.2.1. - Calcaires, craies et marbres	06
1.2.2. - Chaux	08
1.2.3. - Données économiques	08
1.3. - Consommation nationale par secteurs d'activité	12
1.4. - Aperçu des productions et consommations mondiales	14
2 - GEOLOGIE	17
2.1. - Origine et pétrographie des calcaires, craies et marbres	17
2.2. - Répartition et morphologie des gisements	19
2.3. - Prospection et évaluation	21
3 - SECTEURS D'UTILISATION	22
3.1. - Définition des produits utilisés	22
3.2. - Sidérurgie, fonderies, métaux non ferreux	23
3.2.1. - Sidérurgie, fonderies	23
3.2.2. - Métaux non ferreux	23
3.3. - Industries chimiques	23
3.4. - Industries du verre	25
3.5. - Charges	25
3.5.1. - Plastiques et caoutchoucs	26
3.5.2. - Papiers	26
3.5.3. - Peintures et enduits, mastics	26
3.6. - Constructions, routes, travaux publics	27
3.6.1. - Construction	27
3.6.2. - Routes et travaux publics	28

3.7. - Environnement, dépollution	28
3.8. - Agriculture et agro-alimentaire	29
3.8.1. - Agriculture	29
3.8.2. - Agro-alimentaire et alimentation humaine	30
3.8.3. - Alimentation animale	30
3.8.4. - Autres usages	31
4 - CRITERES D'EXPLOITABILITE ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES	32
4.1. - Critères de sélection et d'exploitabilité liés au gisement et au matériau	32
4.2. - Spécifications industrielles	33
4.2.1. - Utilisations en sidérurgie et fonderie	33
4.2.2. - Utilisations dans les industries chimiques	33
4.2.3. - Utilisations dans l'industrie du verre	34
4.2.4. - Utilisations dans la fabrication de charges	35
4.2.5. - Utilisations dans la construction, les routes et les travaux publics	36
4.2.6. - Utilisations en agriculture et dans l'agro-alimentaire	37
5 - MODES DE TRAITEMENT ET DE PREPARATION	38
5.1. - Fabrication de produits crus	38
5.2. - Préparation de la chaux	39
6 - PRODUITS DE SUBSTITUTION	42
Liste des figures et des tableaux	43
Bibliographie sommaire	44

INTRODUCTION

Le thème de ce mémento concerne la production et l'utilisation des carbonates de calcium naturels, présents sous forme de calcaires, craies et marbres, ainsi que des produits dérivés, dans l'ensemble des secteurs d'activité industriels et agricoles, à l'exception de l'industrie cimentière.

Les roches calcaires, contenant au minimum 75 % de CaCO_3 , sont en effet employées brutes ou après transformation dans de nombreux domaines tant industriels (sidérurgie, verrerie, chimie, papier ...) qu'agro-alimentaires (amendements, sucreries, alimentation animale...) ou d'aménagement (routes, traitement des eaux, des fumées...).

Selon les utilisations, les critères de pureté sont plus ou moins impératifs : des produits à plus de 95 % de CaCO_3 sont exigés pour les charges et la fabrication de chaux grasses, tandis que les amendements, certaines branches de la sidérurgie, les routes peuvent se contenter de matériaux à plus faible teneur.

Les roches extraites sont employées soit à l'état brut, concassées ou broyées plus finement, soit en tant que matière première pour subir des préparations spécifiques : calcination et transformation en chaux, puis en carbonate de sodium, en carbonate de calcium précipité, en carbure de calcium, etc...

La production globale de matériaux bruts destinés aux secteurs d'activité mentionnés a dépassé légèrement 19 Mt en 1984. La totalité de ce tonnage n'est cependant pas utilisée, l'industrie de la chaux rejetant par exemple 30 à 40 % de carbonates inutilisables.

Si le plus gros consommateur industriel demeure la sidérurgie, sa part décline en même temps que la production de l'acier, tandis que certains secteurs tels que charges ou environnement voient leur pourcentage progresser.

Les autres utilisateurs maintiennent plus ou moins régulièrement leur consommation.

Au niveau international, les différences sont très grandes d'un pays à l'autre entre les productions, les consommations et les utilisations.

En France, compte tenu du grand nombre de producteurs, de la multiplicité des utilisations et de l'existence d'industries à la fois productrices et consommatrices, il est très difficile d'obtenir des données statistiques précises pour chaque secteur d'activité (dont certains sont de surcroît couverts par le secret). Aussi certains chiffres fournis dans cet ouvrage ont un caractère estimatif.

1 - ECONOMIE ET MARCHE

Le sous-sol français est doté de ressources abondantes en calcaires et en craies à usage industriel . Ceci permet de satisfaire entièrement la demande intérieure, et de réserver une part de la production à l'exportation.

Il existe cependant un léger flux d'importation, concernant calcaires et chaux surtout, dans les régions industrielles limitrophes de la Belgique, du Luxembourg et de la RFA.

La production nationale est répartie dans de nombreuses régions, exceptées celles où les formations favorables n'existent pas (Bretagne, Massif-Central, Vosges, Corse, Landes) et celles qui offrent peu de débouchés, Alpes du Sud notamment.

Elle est particulièrement importante dans les régions industrielles du Nord, de l'Est et du Sud-Est où elle alimente les industries lourdes : sidérurgie, métallurgie, verrerie, chimie.

L'utilisation agricole est plus dispersée, mais concerne en premier lieu les zones de culture intensive - Beauce, Brie, Picardie - et les régions à sol siliceux acide - Bretagne et Normandie, Landes, Limousin, Auvergne.

1.1. - Production nationale et échanges commerciaux

Les chiffres de production des principales catégories de matériaux :

- calcaires et marbres utilisés crus,
- craie,
- calcaires destinés à la calcination et tonnage de chaux correspondant depuis 1980, sont rassemblés dans le tableau 1.

Le manque de statistiques complètes ne permet pas d'obtenir des données précises sur le tonnage de calcaires de calcination, sur celui de la chaux, compte-tenu de la production intégrée des industries sidérurgiques, verrières et sucrières, et enfin sur la part exacte de carbonates (calcaires - craie) destinés à la fabrication de charges.

Par contre le fait de disposer des statistiques du commerce extérieur (tonnage des produits exportés et importés) autorise pour certains matériaux une estimation des consommations apparentes sur le plan national.

PRODUCTION TOTALE (Matériaux bruts) kt	CALCAIRES et MARBRES (utilisation crue)		CRAIE	CALCAIRES (pour calcination tous usages)	CHAUX	
	Castines	Poudres			Part commercialisée	Part intégrée (sidérurgie, sucrerie)
1980	5 600	2 249		9 869	3 610	- 700
1981	4 759	1 873			3 366	650
1982	4 617	1 900			2 994	600
1983	4 647	2 052			2 760	600
1984 19 500	4 950		2 027		3 130	650
1985					3 097	650
1986					2 899	600
ECHANGES COMMERCIAUX	IMP. EXP.	IMP. EXP.	IMP. EXP.		IMP. EXP.	
1980	177 208	? ?	42 531		191 240	
1981	238 209		45 522		125 259	
1982	201 338		45 525		101 259	
1983	162 317	? ?	48 550		102 300	
1984	157 441		28 656		102 316	
1985	178 544 (tous calc. sauf poudres)		37 677		102 320	
CONSOMMATION APPARENTE						
1980					3 551	
1981					3 232	
1982					2 836	
1983					2 562	
1984			1 400		2 916	
1985					2 879	

Tableau 1 - Statistiques des productions, consommations et échanges commerciaux des carbonates de calcium naturels et produits dérivés en France.

Sources : - Annaires de statistique industrielle (Ministère de l'Industrie)

- UNICEM

- Statistiques du commerce extérieur de la France

- Ciments et Chaux - Revues du Syndicat national des fabricants de ciments et chaux

On constate, d'après ces chiffres, un certain tassement de la production depuis 1980.

La répartition globale entre les deux grandes catégories de produits, ceux utilisés crus après concassage (castines) ou broyage (poudres, charges) d'une part, ceux destinés à la calcination d'autre part, semble rester constante, à parts sensiblement égales.

Toutefois les utilisations ont légèrement évolué à l'intérieur de chacune de ces deux catégories comme cela sera montré plus loin (paragraphe 1.3.).

En ce qui concerne les importations, elles restent stables pour les calcaires (toutes utilisations confondues), ont chuté rapidement de près de moitié pour les chaux entre 1980 et 1982 et se maintiennent depuis à ce niveau, tandis que celles de craie sont faibles et ont baissé en 1984 - 1985.

Les exportations réalisent de belles progressions : elles ont plus que doublé pour les calcaires entre 1980 et 1985, ont augmenté de 50 % pour les chaux et de 20 % pour les craies dans le même laps de temps. La part de ces produits utilisés comme charges n'est pas connue mais représente une part importante notamment pour la craie.

Les exportations couvrent très largement les importations en 1985 : 3 fois celles des calcaires et des chaux, 18 fois celles de craie en volume.

La balance commerciale est donc excédentaire : près de 260 MF pour la craie, 23 MF pour les calcaires, 84 MF pour la chaux en 1985.

1.2. - Répartition de la production ; données économiques

Les sites d'extraction, et les centres de transformation des carbonates de calcium sont nombreux et assez bien répartis sur l'ensemble du territoire.

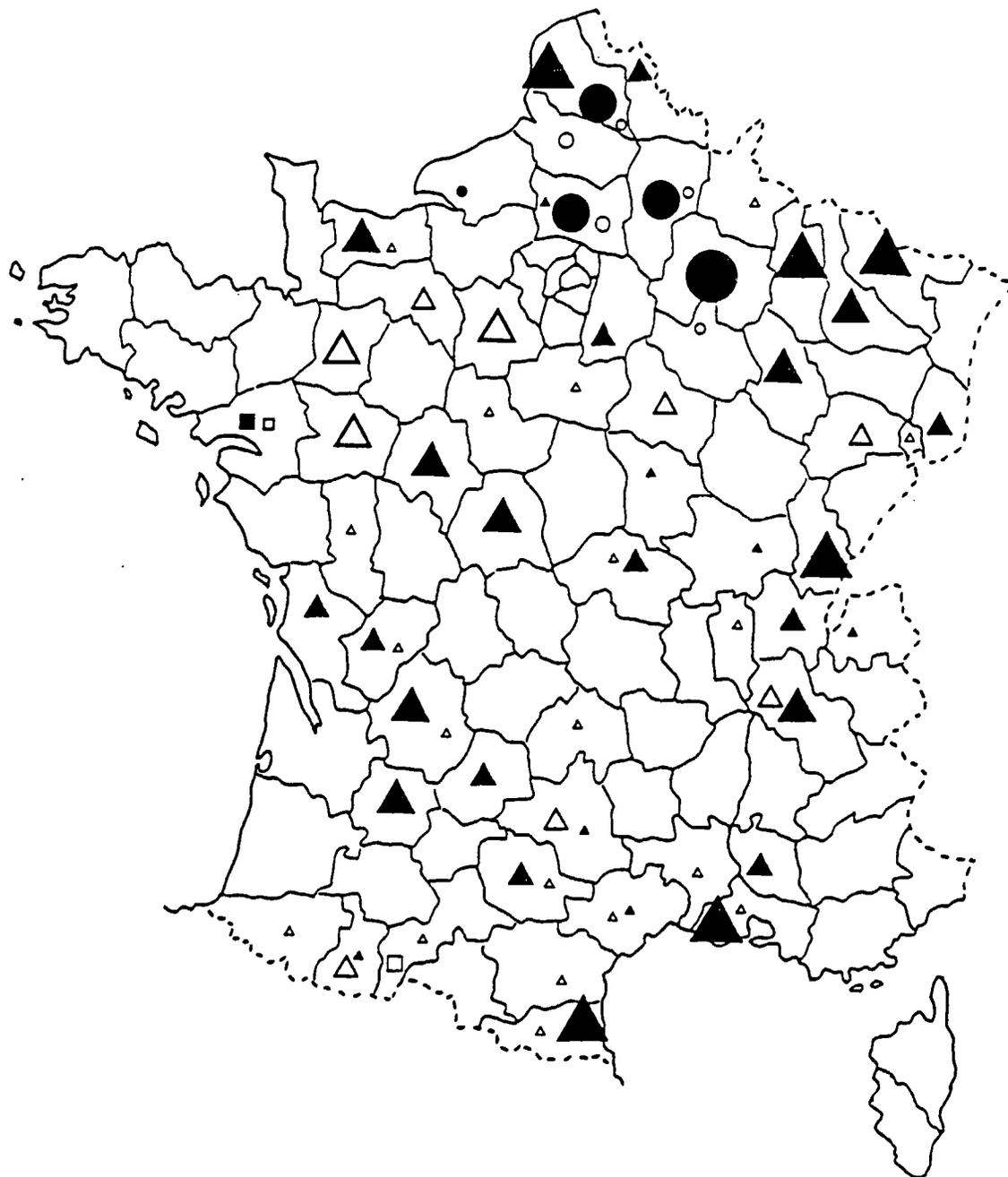
Cependant les carrières les plus importantes se situent à proximité des régions industrielles fortes consommatrices, car les produits extraits, pondéreux, voyagent généralement peu. Les produits à usage agricole sont extraits dans de petites exploitations souvent plus dispersées.

1.2.1 - Calcaires, craies et marbres

Les départements produisant les plus gros tonnages de calcaire (plus de 1 Mt) sont ceux où est implantée la sidérurgie : Meuse, Pas-de-Calais, Bouches-du-Rhône, Moselle (fig. 1).

On trouve ensuite, en liaison avec des industries plus spécifiques des productions de 0,2 à 1 Mt dans le Jura et la Meurthe et Moselle (pour carbonate de soude), dans le Calvados, l'Indre, l'Isère, les Pyrénées-Orientales (chaux à usage industriel, poudres pour charges).

Fig. 1 - Répartition de la production de calcaires, craies et marbres à usage industriel (ciments exclus) et à usage agricole en France



- UTILISATION -

INDUSTRIELLE	AGRICOLE	PRODUCTION
Calcaire - Craie - Marbre	Calcaire - Craie - Marbre	> 500 000 t
▲ ●	△ ○ △	100 à 500 000 t
▲ ● ■	△ ○	< 100 000 t
▲ ●	△ ○ □	< 25 000 t

La production des calcaires à usage agricole donne lieu à des exploitations ne dépassant pas 0,3 Mt, qui se situent surtout dans l'Ouest du Bassin Parisien (Orne, Eure et Loir, Maine et Loire, Mayenne)

La craie est extraite exclusivement dans le Nord et l'Est du Bassin Parisien : Marne, Aisne, Pas-de-Calais, Oise, Somme et Aube. Ses usages sont mixtes, mais essentiellement tournés vers l'industrie (1,2 Mt contre 0,2 Mt pour l'agriculture en 1954) avec une forte part (~ 30 %) réservée à l'exportation.

Quant aux marbres à vocation industrielle et agricole, leur production respective est faible (105 et 42 kt). Ils sont produits uniquement en Loire Atlantique (Erblay), et en Haute Garonne (St Bât).

La production nationale globale par région s'établit donc ainsi :

- Lorraine 40 %
- Nord Pas-de-Calais 12 %
- Provence Côte d'Azur 10 %
- Bourgogne Franche Comté 6 %
- Champagne Ardenne 5 %
- Languedoc Roussillon ~ 5 %

Les autres régions produisent moins de 5 % du total.

1.2.2. - Chaux

La chaux est élaborée à proximité des sites d'extraction de calcaire ou de craie. C'est ainsi que, sans tenir compte de la production intégrée, les 10 plus grosses unités (> 100 000 t/an) se trouvent dans le Nord, le Pas-de-Calais et l'Oise, dans la Meuse, l'Isère et les Bouches-du-Rhône, enfin dans la Mayenne (Fig. 2). L'utilisateur le plus important est encore la sidérurgie.

Les autres usines, 28 en 1982, d'une capacité de 10 000 à 100 000 t/an, sont plutôt regroupées dans le Sud-Ouest, le Centre et le Jura, où elles répondent à des besoins locaux ou régionaux.

1.2.3. - Données écomiques

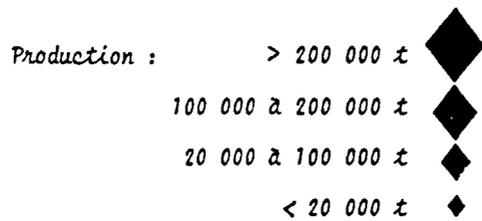
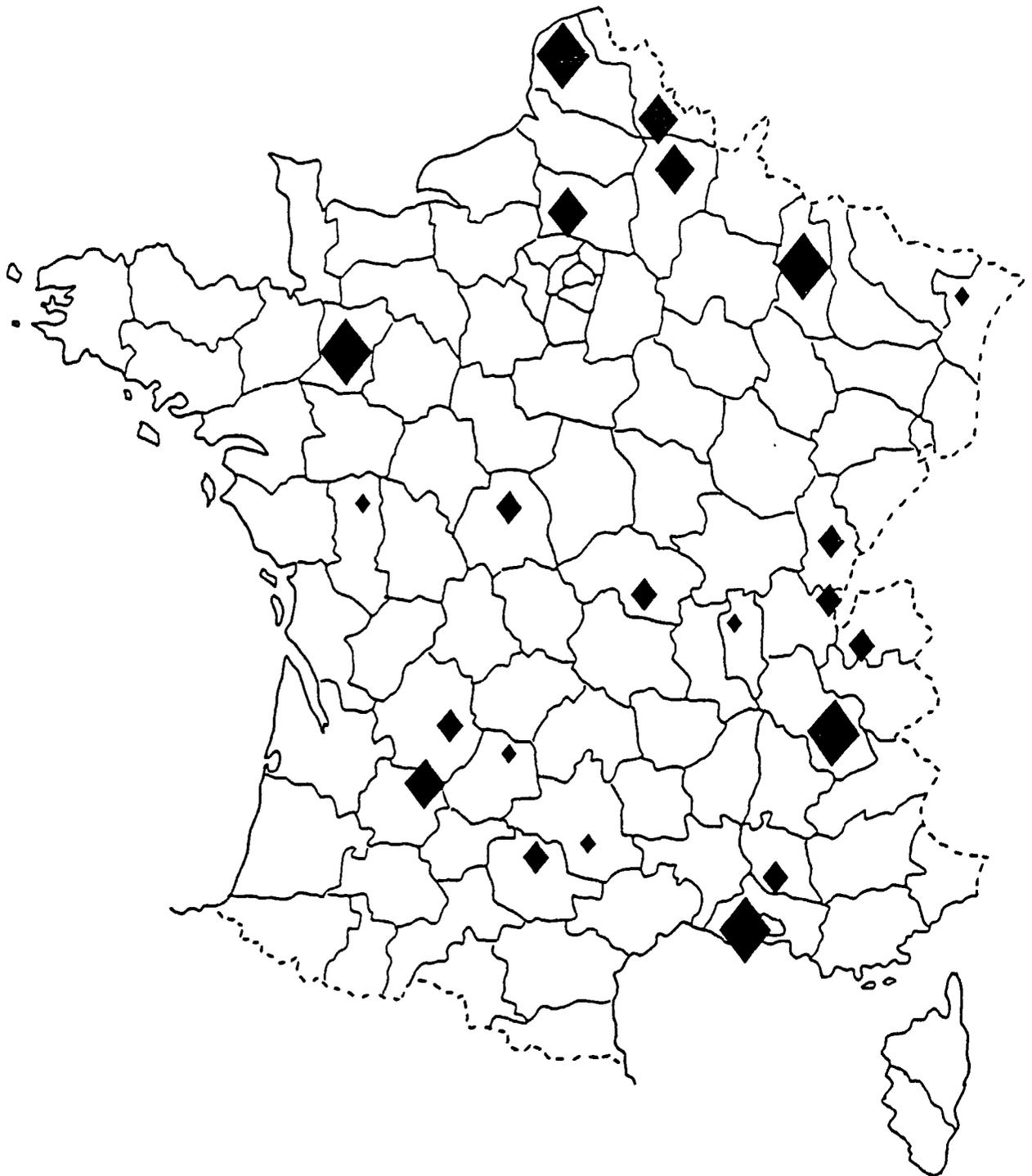
Carbonates crus et chaux sont produits par un grand nombre de sociétés, de petite taille et d'implantation locale ou au contraire d'envergure internationale.

La liste qui suit est loin d'être exhaustive, et mentionne les principaux producteurs.

Plusieurs catégories de sociétés sont distinguées :

1 - Les sociétés dont l'essentiel de la production est destiné à un nombre restreint d'usages, sous forme de carbonates crus peu élaborés (castines, pierre à chaux, poudre pour agriculture, etc ...).

Fig. 2 - Répartition géographique des producteurs de chaux en France



2 - Les sociétés qui fournissent une gamme de produits plus complète et plus élaborés, en particulier pour les charges (granulométrie fine, haute teneur en CaCO_3).

3 - Enfin les sociétés produisant principalement des pierres à chaux et des produits dérivés après calcination (chaux, carbonate de sodium etc..).

Catégorie 1 - Producteurs de castines, pierres à chaux, poudres

- Bocahut (Ets)	59440 Avesnes/Helpe
- Boulonnais (Sté des Carrières du)	62250 Marquise
- Carrières de la Vallée Heureuse et du Haut Banc	62720 Rinxent
- Charroy (Ets)	52300 Joinville
- Lefevre (Ets Jean)	92200 Neuilly (Carrières Chateaufneuf les Martigues 13)
- Randon (Carrières)	62250 Marquise
- SATMA	02300 Yzeure
- SMN	14190 Cauvicourt
- Void (Sté des Carrières de)	55190 Void Vacon

Par ailleurs la sidérurgie extrait le calcaire à castines pour ses propres besoins :

. Sacilor (1 Mt))	(dans la Meuse)
. Unimétal (0,35 Mt)	(

Catégorie 2 - Producteurs de poudres pour industrie, de charges et produits divers

- Blancs de Champagne (S.A.)	51000 Châlons/Marne
- Blancs Minéraux de Paris	78400 Chatou (Carrière à Précy 60)
- COFAMI	75010 Paris (Carrière à Précy)
- MEAC	28000 Chartres (nombreuses carrières en France ; 9 centres de production)
- OMYA	75725 Paris (Carrières à Omey 51, Tautavel 66, Orgon 13)

- Piketty (Ets)	75004 Paris (Carrière Moret/Loing 77)
- Provençale de Travaux (S.A.)	66600 Cases de Pène (Carrière à Tautavel)
- SAMIN	92400 Courbevoie
- SCEE	61150 Ecouché
- SOLVAY et Cie	75008 Paris
- SOUPPES (Les Carrières de)	77460 Souppes/Loing
- Cie Industrielle et Minière (Rhône - Poulenc)	92408 Courbevoie (Carrières Pagny/Meuse 55 St Martin la Porte 73)

. Effectifs : (Catégories 1 et 2) : ~ 2 900 personnes (1983)

. C.A. : (Catégories 1 et 2) : 567,3 MF (1983 - Baisse de 1,9 % en francs constants/1950)

. Prix de vente : . poudre de craie pour charges 400 à 700 F/t

. poudre de calcaire pour charges 200 à 1 500 F/t
(plus en cas de traitements spéciaux)

. poudre pour amendements 250 F/t à 500 F/t

. poudre de marbre 350 à 1 200 F/t

. castines, pierres à chaux : 50 à 250 F/t selon la pureté

. filler asphalté : 125 F/t

" route : 100 F/t

Catégorie 3 - Producteurs de pierre à chaux, de chaux et produits dérivés

- Balthazard et Cotte (Chaux)	38000 Grenoble
- Bocahut (Ets)	59440 Avesnes/Helppe
- Boulonnais (Chaux et dolomies du)	75013 Paris (Usine à Rety 62, Boran 60)
- Bonargent Goyon	36600 St Gaultier
- Ciments de Champagnole	25000 Besancon
- Chaux de la Tour	84440 Robion (Chateauneuf Martigues 13)

- Chaux et Dolomie Françaises	53600 Neau
- Chaux du Périgord	24120 Terrasson
- Dugny (S.A. des Carrières et Fours à Chaux)	55100 Verdun
- FACA	02800 La Fère
- Lisbonis (Ets)	13000 Marseille
- SICHO	03800 Gannat
- SOFREM - Pechiney Electro - Métallurgie	01200 Bellegarde

Effectifs : 1982 : 1 600 personnes
1985 : 1 365 "

C.A. : 1982 ~ 800 MF
1985 ~ 1 200 MF

Prix de vente : Chaux à 99 % CaO : 450 F/t en vrac, 510 à 540 F/t en sacs sur palette

1.3 - Consommation nationale par secteurs d'activité

Le tableau 2 donne un aperçu des consommations en calcaires crus (castines et poudres), en calcaires pour calcination et produits obtenus (chaux, carbonate de soude), et en craie, dans les principaux secteurs d'utilisation de ces matériaux.

Ce marché est cependant peu aisé à cerner, car d'une part les usages des carbonates de calcium sont multiples, d'autre part il existe peu des statistiques dans certains domaines.

Aussi la précision des chiffres est très variable selon le type d'industrie, ou de produit utilisé. Les industries fortement concentrées ou structurées (sidérurgie, verrerie, sucrerie) fournissent des statistiques fiables qui permettent de suivre l'évolution des consommations. A l'inverse pour les industries très dispersées ou utilisant un grand nombre de composés (peintures, papiers, chimie, alimentation) il est difficile de connaître les tonnages exacts consommés.

UTILISATION	CALCAIRES - CRAIE , MARBRES CRUS (kt)		CALCAIRES POUR CALCINATION (kt)	CHAUX (kt)	CARBONATE DE SOUDE (kt)
	Castines	Poudres - Charges			
SIDERURGIE	. 1980 - 3215 81 - 3007 82 - 2620 83 - 2385 84 - 2595 85 - 2443		~ 3 000	. 1980 - 2167 82 - 1876 85 - 1728 86 - 1590	? ? - 152
METAUX NON FERREUX	- 250 ?		- 360	. 1980 - 250 82 - 223 85 - 166 86 - 147	
VERRERIE CERAMIQUE		. 1980 - 358 81 - 304 82 - 313 83 - 306 84 - 282 85 - 269	~ 1 000		. 1980 - 759 83 - 753 84 - 763 85 - 727
CHIMIE ORGANIQUE				. 1980 - 196 82 - 156 85 - 179 86 - 186	42 (pour carbure Ca)
PLASTIQUES CAOUTCHOUC		. 1985 - 300		. 1982 - 130	
PEINTURES ENDUITS		. 1980 - 200 83 - 230 85 - 250			
DETERGENTS					. 1983 - 420
PAPIERS CARTON		. 1982 - 375 . 1986 - 400		. 1980 - 65 82 - 69 85 - 49 86 - 53	
ASPHALTE ETANCHEITE	~ 500	(fillers) ~ 100			
ROUTES CONSTRUCTION		routes . 1980 - 279 81 - 214 82 - 192 83 - 183		R. * C. . 1980 - 216 44 82 - 176 35 85 - 192 62 86 - 189 73	
TRAITEMENT DES EAUX ET DES FUMÉES				E. F. . 1980 - 234 82 - 196 85 - 194 44 86 - 167 74	
SUCRERIES	. 1980 - 1003 81 - 1215 82 - 1237 83 - 824 84 - 852				
AMENDEMENTS	. 1980 - 905 81 - 985 82 - 937 83 - 1074	- 783 - 611 - 546 - 715		. 1980 - 276 82 - 261 85 - 280 86 - 260	
ALIMENTATION ANIMALE		. 1980 - 220 85 - 230			
AGRO-ALIMENTAIRE PHARMACIE		~ 10 ?		. 1986 - 20	

* R. : routes - C. : construction - E. : eaux - F. : fumées

Tableau 2 - Statistiques des consommations de carbonate de calcium et de produits dérivés par secteurs d'activité en France

En sidérurgie la baisse de consommation de castines et de chaux est constante et très nette, de même qu'en métallurgie des non-ferreux pour laquelle la part de castines est inconnue.

Les autres secteurs dont la consommation diminue sont la construction routière (poudre et chaux), le traitement des eaux polluées (chaux, mais cette baisse est ici compensée par le développement parallèle de son utilisation dans le traitement des fumées industrielles) et l'industrie sucrière (influence probable du climat sur les récoltes de betterave à sucre). Globalement la consommation de chaux diminue d'année en année et ceci pourrait être partiellement imputable au coût énergétique élevé de ce produit.

Les industries de la verrerie (poudres, carbonate de soude), de la chimie (pétrochimie) et de l'agro-alimentaire (amendements, alimentation animale) maintiennent leur consommation.

Les secteurs en expansion, mais pour lesquels on manque de données, sont les plastiques et caoutchoucs (plastiques surtout), les peintures et enduits et les papiers et cartons qui utilisent de plus en plus de charges carbonatées, à forte valeur ajoutée mais moins onéreuses que le kaolin ou le talc.

1.4. - Aperçu des productions et consommations mondiales

Les chiffres qui suivent donnent une idée des productions et consommations dans les principaux pays industrialisés, mettant en évidence de fortes différences de comportement, notamment en ce qui concerne les utilisations de la chaux. (Les difficultés pour obtenir et comparer chiffres de production et de consommation sont les mêmes qu'en France).

Aux USA la production estimée de carbonates blancs pour charges atteint 6 Mt (calcaires et dolomies ~ 4,85 Mt, marbres 1,15 Mt) et celle de poudres pour agriculture est très élevée : 30 Mt, auxquels, il faut ajouter 2,2 Mt pour l'alimentation animale. La consommation se répartit entre les plastiques (663 kt), les revêtements de sol (550 kt), les matériaux pour couverture (450 kt), les papiers (400 kt pour charge + 650 kt pour le couchage), les peintures (260 kt), les asphaltes (700 kt), la construction (750 kt) et autres usages (~ 1 500 kt). Pour leur part, la verrerie et les sucreries utilisent respectivement 2 et 1,3 Mt de calcaire.

En Europe la production de carbonates de calcium pour charges est approximativement la suivante :

- RFA	~ 0,7 Mt
- Belgique	~ 0,5 Mt
- Espagne	~ 0,6 Mt
- Grande Bretagne	~ 0,6 Mt
- Suède	~ 0,2 Mt
- Italie	~ 0,6 Mt

Au Japon, 164 Mt de calcaires industriels ont été produits en 1985, dont ~ 13 % soit plus de 20 Mt ont été consommés par la sidérurgie. Ce pays en tant que gros producteur de peintures (1,8 Mt), papiers et plastiques, représente probablement le 2^e consommateur de carbonate blancs après les USA (1,5 à 2 Mt ?).

La production et les utilisations de la chaux dans les pays industrialisés sont beaucoup mieux connues comme le montre le tableau 3.

	Allemagne Fédérale	Belgique	France	Italie	Japon	Républ. Afrique du Sud	Suède	Etats- Unis
Tonnage total (1 000 t)	6 350	2 182	3 234	5 500	10 129	2 050	419	14 472(1)
Réparation (en %)								
. Métallurgie	38,7	35,4	52,4	16,4	54,5	66,7	38,2	39,8
. Chimie	8,3	4,2	6,6	16,4	25,0	17,7	8,4	21,1
. Construction	26,1	1,9	6,2	47,3	3,1	2,9	9,0	3,0
. Routes	1,8	-	5,9	-	3,8	5,0	-	5,3
. Environnement	10,9	2,4	7,3	9,0	7,9	0,7	8,8	22,3
. Agriculture	6,2	0,3	8,7	5,4	4,2	-	-	-
. Exportation	6,2	54,5	9,3	-	0,2	2,9	4,1	-
. Divers	1,8	1,3	3,6	5,5	1,3	4,1	31,5	8,5
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(1) - Chiffres 1984 - Ces chiffres incluent les chaux hydrauliques naturelles

Tableau 3 - Répartition de la production de chaux dans divers pays industrialisés en 1985

Les pays de l'Est sont également de gros producteurs de chaux (1980) :

- URSS 23 Mt
- Pologne 8,7 Mt
- R.D.A. 3,5 Mt
- Roumanie 3,4 Mt

On observe que les utilisations sont très variées entre différents pays à économie de marché :

- la métallurgie est la plus grosse consommatrice en Afrique du Sud, au Japon et en France, et la chimie occupe une part importante au Japon et aux U.S.A,

- en construction, la chaux grasse est très employée en Italie et en RFA, tandis que les utilisations routières sont peu développées hormis en France et aux U.S.A,

- la protection de l'environnement est en progression dans la plupart des pays industrialisés, et ce domaine a déjà pris une très grande importance aux U.S.A. et en R.F.A,

- l'utilisation pour l'agriculture est notable en Europe (France, RFA, Italie), et pour les utilisations diverses la Suède se distingue du fait de la demande liée à la production de pâte à papier,

- enfin les exportations de chaux, produit pondéreux, sont très limitées excepté pour la Belgique (qui fournit ses pays voisins : Pays-Bas, RFA) et en partie pour la France qui se trouve régionalement dans une situation analogue (exportations à partir de la Lorraine et du Nord).

2 - GEOLOGIE ET GITOLOGIE

Calcaires, craies et dans une moindre mesure marbres sont des roches très répandues en France. Aussi présentent elles une grande variété de composition, d'aspect, de situation, et enfin d'âge et d'origine.

2.1. - Origine et pétrographie des calcaires, craies et marbres

Les calcaires et les craies sont des roches sédimentaires, déposées essentiellement en milieu subaquatique, marin ou lacustre. Les marbres, au sens strict, sont des calcaires ayant subi un métamorphisme plus ou moins poussé, avec recristallisation de la calcite, du à une augmentation de pression et/ou de température.

En France ces roches sont abondantes dans les grands bassins sédimentaires (Bassins Parisien, Aquitain, sillon Rhodanien) ainsi que dans les chaînes alpines (Jura, Alpes, Pyrénées).

Par contre les massifs cristallins anciens (Massif Armoricain, Massif Central, Vosges, Corse) en sont presque dépourvus.

On trouve des roches carbonatées à presque toutes les époques géologiques. Sur le territoire français, les plus anciens dépôts, d'extension réduite, datent du Cambrien inférieur (- 550 MA) et sont situés dans la Montagne Noire et les Pyrénées, où ils sont localement métamorphisés en marbres. Le Paléozoïque inférieur (Cambrien, Ordovicien, Silurien, - 600 à - 395 MA) est cependant très pauvre en carbonates dans son ensemble.

Au Dévonien supérieur et au Carbonifère inférieur (- 375 à - 325 MA) se déposent des calcaires marins de faciès plus ou moins récifal, qui prennent une grande extension dans certaines régions où il sont souvent métamorphisés : Ardennes, Pyrénées.

Du Carbonifère supérieur au Trias inférieur (- 325 à - 220 MA) les dépôts sédimentaires sont presque exclusivement détritiques.

C'est au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque que s'accumulent d'épaisses formations carbonatées qui constituent l'essentiel des ressources exploitées en France. En effet la structuration des bassins (Parisien et Aquitain) et le soulèvement des chaînes alpines font affleurer les calcaires du Jurassique, de l'Eocène, et les craies et calcaires du Crétacé, sur de vastes surfaces.

Il existe donc de nombreuses sortes de calcaires selon leur âge, leur milieu de dépôt et les transformations physico-chimiques, ou diagenèse, qu'ils ont subi. Tous ces facteurs conditionnent bien évidemment la qualité des carbonates de calcium.

Parmi les roches contenant plus de 50 % de CaCO_3 (calcaires au sens large) on distingue plusieurs catégories selon l'origine.

- Les calcaires organiques, dus à l'activité des organismes vivants. Ce sont d'une part les calcaires construits ou récifaux, formés par les coraux, les Rudistes, les Bryozoaires ou les algues, d'autre

part les calcaires bioclastiques, résultant de l'accumulation de débris organiques carbonatés : coquilles de Lamellibranches et de Brachiopodes, articles de Crinoïdes, Gastéropodes etc...

La craie résulte pour sa part de l'amoncellement en eaux relativement peu profondes, de très petits organismes (10 à 20 μ) à test calcaire, les Coccolithes.

- **Les calcaires d'origine biochimique ou physico-chimique**, qui sont formés par précipitation du carbonate de calcium en solution sous l'action de paramètres physiques ou de facteurs biochimiques. En milieu marin ce sont surtout les calcaires oolithiques et pisolithiques, constitués de petites sphères plus ou moins cimentées de taille inférieure (oolithes) ou supérieure (pisolithes) à 200 μ m.

En milieu continental on trouve des calcaires de précipitation lacustres ou lagunaires, des concrétions de sources chaudes (tufs et travertins), ou de grottes (stalactites et stalagmites).

- **Les calcaires d'origine détritiques** résultent de la cimentation d'éléments carbonatés remaniés : brèches de pentes, galets, graviers, sables calcaires.

Les marbres proviennent de la recristallisation, à pression et température élevées, de la calcite constituant n'importe quel calcaire. Leur couleur et leur texture dépendront donc en grande partie de la roche d'origine. La recristallisation de la calcite provoquant souvent l'élimination plus ou moins poussée des autres constituants minéralogiques, les marbres peuvent devenir ainsi chimiquement plus purs que les calcaires d'origine.

Les calcaires contiennent rarement plus de 95 % CaCO_3 ; le minéral le plus répandu est la calcite (rhomboédrique), l'aragonite (orthorhombique) étant accessoire. Les autres constituants qui entrent dans la composition des roches carbonatées sont :

- le carbonate de magnésium \rightarrow calcaires dolomitiques,
- les argiles \rightarrow calcaires marneux,
- le quartz \rightarrow calcaires gréseux,
- les cherts (silicifications massives, par exemple sous forme de silex dans la craie)
- la matière organique (donnant une coloration brune ou grise)
- les oxydes,
- enfin une certaine proportion d'eau, liée à la texture de la roche.

Une trop grande proportion de ces impuretés peut affecter les caractéristiques mécaniques ou chimiques des produits recherchés.

La diagenèse joue également un rôle et peut modifier fortement les calcaires. Ses principales manifestations sont le remplacement de la

calcite par d'autres minéraux (dolomitisation, silicification, principalement), la cimentation de la porosité par de la calcite ou un autre minéral, ou au contraire la dissolution d'une partie des constituants etc...

C'est ainsi qu'à l'intérieur d'une même couche ou d'une même formation carbonatée on peut enregistrer des variations de composition ou de texture, gênantes en cas d'exploitation.

La craie est un des matériaux les plus friables parmi les carbonates car il est peu ou pas cimenté. Au contraire certains calcaires cristallins ou marbres sont très indurés. La dureté de la calcite en tant que minéral est faible quant à elle : $d = 3$ maximum dans l'échelle de Mohs.

2.2. - Répartition et morphologie des gisements

Les gisements exploités appartiennent à des formations géologiques d'âges différents, mais ce sont les puissants niveaux marins du Jurassique et du Crétacé situés dans le Nord est l'Est du Bassin Parisien, ainsi que dans le Sud-Est de la France, qui sont surtout concernés.

Les conditions de gisements sont assez variées, mais généralement les couches sont subhorizontales, et le taux de découverte très faible. Cependant dans le cas de matériaux plus nobles (carbonates pour charges), ce taux peut être augmenté, et l'exploitation se faire en souterrain (exemple des marbres de St Béat - 31).

Exemples de gisements :

- Carrière Bocahut à Avesnes/Helpe (59)

- . Calcaires gris du Dinantien supérieur, indurés.
- . Bancs compacts peu pentés, sur le flanc sud d'un synclinal.
- . Couverture très faible (1 m terre végétale)
- . Production annuelle : 900 k t dont 200 pour industrie.

- Carrière de Dugny (55)

- . Calcaires blancs du Jurassique supérieur (Oxfordien)
- . Banc subhorizontal exploité sur 60 m d'épaisseur en 6 gradins, à flanc de colline. Extensions latérales considérables.
- . Couverture faible : 4 à 5 m de terres argileuses.
- . Production annuelle 900 k t Utilisations : pierres à chaux, castines pour sidérurgie.

- Carrières OMYA à Omev (51)

- . Craie du Sénonien à 95 % CaCO₃, très tendre.
- . Bancs subhorizontaux de 1 m, exploités en 4 ou 5 gradins sur 15 m d'épaisseur.
- . Couverture faible : 2 à 3 m.
- . Production totale : 1 000 kt - Utilisation : charges, agriculture.

- Carrière OMYA à Orgon (13)

- . Calcaire récifal bioclastique du Barrémien et de l'Aptien (Crétacé inférieur faciès "urgonien"), très pur (99,7 % de CaCO₃), devenu crayeux par diagenèse.
- . Bancs épais exploités en gradins, abattage à l'explosif.
- . Couverture très faible.
- . Production annuelle : 500 kt - Utilisation : charges à 95 %.

- Carrière MEAC à Villeau (28)

- . Calcaire microcristallin (10 - 20 µ) pulvérulent, de l'Eocène (Tertiaire inférieur) formé par précipitation chimique en milieu lacustre. Très pur (97 % CaCO₃), il peut contenir localement des amas argileux et des meulière.
- . Masse homogène de 4 à 10 m d'épaisseur exploitée à la pelle hydraulique.
- . Couverture de 1 à 3 m (limon de Beauce), remise en forme après extraction
- . Production annuelle : 250 kt dont 80 kt stériles remis en carrière. Utilisation : agriculture, charges.

- Carrière Onyx et Marbres granulés à St Béat (31)

- . Marbre homogène lamellaire, blanc à parties bleutées, du Bathonien probable (Jurassique moyen)
- . Masse métamorphisée de 20 m de puissance
- . Exploité en galeries.
- . Production annuelle ~ 65 k - Utilisation : charges, agriculture, granito.

En règle générale les exploitations concernent donc des niveaux épais et constants, à structures régulières (pendage faible, zones

faillées rares) et possédant des extensions importantes. Ceci est un cas fréquent pour les formations carbonatées marines d'âge secondaire.

2.3. - Prospection et évaluation

La prospection se fait, après étude de documents (cartes géologiques, bibliographie) par une reconnaissance géologique sur le terrain (moyens : marteau, boussole et clinomètre, carte topographique, acide, colorant spécifique de la calcite : alizarine).

Elle se conduit par l'observation détaillée des affleurements et la prise d'échantillons représentatifs pour analyses de laboratoire : lames minces, calcidolomimétrie, mesure de porosité, granulométrie, indice de blancheur, recherche des impuretés.

Dans les régions où les affleurements sont rares, ou pour reconnaître des niveaux épais dans leur totalité, il est nécessaire de forer, en destructif ou en carotté (selon la qualité du matériau et son utilisation éventuelle), ou de procéder à une investigation géophysique.

3 - SECTEURS D'UTILISATION

Dans ce chapitre sont passés en revue les principaux secteurs utilisant la gamme des produits très diversifiés obtenus après transformation des matières brutes.

3.1. - Définition des produits utilisés

Les différentes sortes de matériaux bruts et de produits obtenus à partir de carbonates de calcium naturels sont les suivants :

. **Castines*** : éléments de calcaires crus concassés, puis broyés après criblage à des tailles diverses (- 5 mm à 100 mm) selon les utilisations (sidérurgie, verrerie).

. **Pierre à chaux** : castines destinées à la calcination, de granulométrie compatible avec les différents types de four.

. **Poudres** : granulats finement broyés utilisés en amendement, dans l'alimentation animale etc ...

. **Charges** : poudres très fines obtenues par micronisation de calcaires blancs et purs dans des broyeurs sécheurs. Elles entrent comme constituant minéral principal dans certains produits (peintures, plastiques, papier ...) où le liant est organique. Elles servent de support sans modifier les qualités, et même augmentent dans certains cas la résistance de matériaux, tout en abaissant leur prix de revient.

. **Filler** : poudre à 96 - 97 % CaCO_3 , entrant dans la composition des enrobés routiers bitumineux et dans les revêtements étanches.

. **Chaux** : la chaux peut être définie comme formant toutes les variétés de l'oxyde de calcium CaO (chaux vive) et de sa forme hydratée Ca(OH)_2 (chaux éteinte).

Il s'agit là des chaux aériennes, se recombinaut avec le CO_2 atmosphérique, obtenues à une température de cuisson < 1 200° C. Les chaux hydrauliques contiennent pour leur part un peu d'argiles et sont obtenues à une température de cuisson > 1 200 ° C. Elles se recombinaut sous l'action de l'eau pour forme de silicates et aluminates complexes.

Dans ce recueil sont concernées les chaux aériennes, subdivisées en chaux pures (plus de 97 % CaO), en chaux grasses (85 à 97 % CaO) et en chaux maigres (moins de 85 % CaO).

* étymologiquement : pierre à chaux, de l'allemand kalkstein, par extension calcaire utilisé en sidérurgie.

3.2. - Sidérurgie, fonderie, métaux non ferreux

3.2.1 - Sidérurgie, fonderie

Ce sont les secteurs qui, malgré leur déclin, restent de loin les plus importants consommateurs de castines (1,75 Mt comme fondants dans les hauts fourneaux en 1986) et de chaux (1,2 Mt dans les convertisseurs pour raffiner la fonte en éliminant les impuretés Si, P, S, Mn).

La chaux et les castines sont également incorporées aux agglomérés et aux boulettes. Par ailleurs 0,15 Mt de carbonate de soude obtenus à partir de calcaires sont employés comme désulfurisant.

Au total ces industries consomment à peu près 3 Mt de castines et 2 Mt de chaux annuellement.

3.2.2 - Métaux non ferreux

Dans la préparation de l'aluminium, la bauxite est attaquée directement par la chaux, ou par une lessive de soude produite à partir de carbonate de soude traité à la chaux (80 à 175 kg CaO/t Al₂O₃).

La chaux sert aussi dans l'enrichissement des minerais (séparation par flottation de sels métalliques) et pour contrôler le pH lors de la production de Cu, Zn, Pb, Au, Ag, U et Ca.

Le calcium métal est obtenu par électrolyse de CaCl₂ produit à partir de calcaires.

3.3 - Industries chimiques

Les utilisations des calcaires et de la chaux sont nombreuses dans la chimie, aussi bien minérale qu'organique.

La chimie minérale emploie les calcaires en tant que matière première pour produire du carbonate de sodium, du carbure de calcium, de l'hypochlorite de calcium et également pour la synthèse du carbonate de calcium précipité (CCP).

L'ensemble de ces transformations s'effectue avec une étape intermédiaire par la chaux (voir paragraphe 5.2). Celle-ci sert également à modifier le pH, pour régénérer des réactifs plus coûteux, ou pour épurer des solutions par précipitation de composés insolubles. Les poudres carbonatées brutes entrent également dans la composition de certains insecticides et pesticides.

Fabrication du carbonate de sodium Na₂CO₃

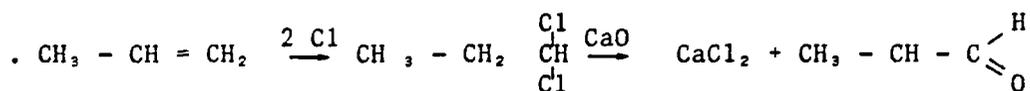
Produit chimique de base, Na₂CO₃ est utilisé en verrerie (~ 750 kt), pour la fabrication de détergents (~ 400 kt), et dans la sidérurgie (~ 150 kt). Le procédé Solvay est pratiquement le seul employé, par réaction entre l'ammoniaque, le chlorure de sodium et le gaz carbonique.

- . chaux + carbonate de sodium - $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{O}$
- . lait de chaux + gaz carbonique - $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- . carbonate de sodium + chlorure de calcium $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{NaCl}$

La production française de CCP dépasse probablement 100 kt.

Fabrication de produits organiques de synthèse

La principale utilisation de la chaux dans ce domaine est la fabrication de l'oxyde de propylène, matière de base de la chimie organique, la réaction étant la suivante :



La chaux sert donc à transformer le chlorure de propylène, obtenu à partir du propylène, en oxyde, en même temps qu'elle neutralise HCl sous produit.

Il faut 110 à 130 kg de chaux pour obtenir 100 kg d'oxyde de propylène.

3.4 - Industrie du verre

La fabrication du verre utilise comme matières premières, outre la silice, 8 à 13 % de calcaire et 10 à 16 % de carbonate de sodium produit à partir de calcaires.

Le calcaire (et aussi la dolomie) sert de stabilisant et renforce la résistance à l'eau et la résistance chimique, alors que le carbonate de sodium sert de fondant. Leur consommation respective aura été de 306 kt et 753 kt en 1983.

La chaux est très peu employée dans la verrerie en France, contrairement à d'autres pays, les U.S.A par exemple. Elle est plus coûteuse à l'achat mais permet d'obtenir des verres plus brillants et de meilleure couleur, ainsi qu'une fusion plus rapide économisant le carburant.

3.5 - Charges

Le secteur des charges minérales, surtout celui des calcaires blancs, a été en forte expansion pendant une dizaine d'années. (consommation quadruplée par exemple pour les papiers entre 1974 et 1984).

Les emplois sont multiples et on peut penser que de nouveaux débouchés apparaîtront bientôt, compensant le tassement global de consommation récemment observé.

3.5.1. - Plastiques et caoutchoucs

L'incorporation de poudre calcaire dans les plastiques (jusqu'à 40 % en remplacement de résines) est maintenant généralisée depuis la hausse des prix pétroliers de 1973. Sa croissance suit celle de la production du PVC, principal utilisateur, mais aussi des polyesters, dans l'industrie automobile par exemple.

Les poudres carbonatées améliorent l'extrusion et l'isolation électrique, la résistance à l'usure et à la traction et accroissent les résistances chimiques et mécaniques des plastiques. Dans les gaines de câbles électriques elles représentent jusqu'à 45 % en poids du plastique utilisé.

La consommation nationale avoisine probablement 300 kt y compris la part destinée aux caoutchoucs synthétiques, mais les chiffres exacts ne sont pas connus, étant souvent couverts par le secret de fabrication.

3.5.2. - Papiers

Les carbonates de calcium naturels, ou précipité, sont utilisés pour la charge et le couchage du papier, depuis une vingtaine d'années, (procédé par voie neutre) remplaçant partiellement d'autres charges plus onéreuses (talc, kaolin). Alors que le tonnage de ces derniers a tendance à diminuer en valeur absolue, celui des carbonates a quadruplé entre 1974 et 1984. On observe cependant un tassement récent, car les autres charges présentent des avantages (le kaolin est inerte et les machines sont mieux adaptées à son emploi ; le talc est plus facile à employer).

Actuellement on peut estimer que la consommation de carbonate de calcium en papeterie est sensiblement égale à celle des autres charges, soit 400 kt pour chaque catégorie. La teneur sur sec du papier couché varie entre 4 et 25 % (calcite d'Orgon, CCP).

La chaux est quant à elle employée dans la fabrication du papier kraft pour régénérer la soude nécessaire à la séparation de la cellulose. Il en est consommé 270 kg/t papier kraft, ainsi qu'un certain tonnage comme agent blanchissant ou pour la clarification des eaux résiduaires.

Une partie de la chaux est régénérée mais la consommation représente encore plus de 50 kt/an.

3.5.3 - Peintures et enduits, mastics

Ce marché est arrivé à un stade mature dans son ensemble. Cependant la part de charges carbonatées qu'il utilise est encore en expansion, du fait de leur coût plus faible et de la consommation accrue de peintures à dispersion aqueuse, pour lesquelles les carbonates conviennent mieux.

Les charges carbonatées ou autres (talc, kaolin, micas, silice), forment en moyenne 25 - 30 % du poids des peintures avec des extrêmes de 5 % (peintures brillantes) à 70 % (peintures mates). Leurs caractéristiques diffèrent et sont complémentaires : brillance, texture, opacité, pouvoir de dispersion, résistance chimique, propriétés rhéologiques etc...

Les carbonates de calcium ont un pouvoir d'absorption d'huile faible, de 10 à 22 g/100 g, et peuvent donc entrer dans la composition des peintures avec un rapport élevé sans entraîner une forte viscosité. La craie, en se mélangeant facilement au blanc de titane, améliore la dispersion des pigments ; elle se prête également à la confection de mastics à 85 % carbonates et 15 % d'huile de lin, qui deviennent inaltérables en séchant. L'inconvénient des charges carbonatées est leur sensibilité aux attaques acides.

Il s'agit cependant de la catégorie de charges la plus importante pour cet emploi. Représentant 90 % du tonnage des charges elle se répartit de la manière suivante (1983) :

. enduits de peintures intérieures	70 kt
. peintures bâtiment	60 kt
. crépis et revêtements plastiques	60 kt
. mastics et joints	20 kt

Les autres charges ne totalisent que 20 kt.

3.6. - Construction, routes, travaux publics

Ce sont des domaines variés où les calcaires et chaux trouvent de nombreux usages.

3.6.1. - Construction

Mis à part les pierres de taille et granulats calcaires, qui ne sont pas traités dans ce mémento, c'est surtout la chaux qui est employée dans le bâtiment, en tant que mortiers à la chaux grasse (aérienne). Ceux-ci ont l'avantage d'être imperméables à l'eau mais pas à la vapeur, de ne pas se fissurer ou se craqueler, et leur aspect esthétique est certain (restauration de constructions anciennes).

La chaux intervient également dans la fabrication de briques silico-calcaires (mélange de chaux et de sable siliceux compacté et étuvé, mais dont l'emploi est peu répandu en France contrairement à l'Allemagne et à l'URSS), et de bétons cellulaires isolants et légers (mélange de sable, chaux + ciment et de poudre d'Al provoquant une structure poreuse). Ce dernier type de matériau se développe progressivement en France.

3.6.2. - Routes et travaux publics

La stabilisation des sols argileux et la formation de liants avec des matériaux pouzzolaniques sont obtenus avec de la chaux, lors des travaux routiers ou des chantiers de construction :

. 1^o méthode - la chaux vive s'éteint en absorbant l'eau des sols humides qu'elle assèche donc en partie, puis elle agit en quelques heures sur les argiles qui flocculent et deviennent grumeleuses et aptes à être travaillées. Plus lentement la chaux forme des silicates et aluminates (réaction pouzzolanique) et agglomère les composants du sol.

On peut ainsi obtenir des chantiers plus facilement praticables ou des assises routières durables et de qualité, en utilisant 10 à 30 kg de chaux / m².

Cette utilisation après s'être développée rapidement connaît actuellement un certain fléchissement.

. 2^o méthode - en mélange avec des pouzzolanes naturelles ou artificielles (laitiers de hauts fourneaux ou cendres de centrales thermiques) la chaux et l'eau forment des liants qui cimentent les matériaux inertes tels que graves ou sables.

Il faut 1 à 5 % de chaux pour cet emploi selon la teneur en Ca des pouzzolanes.

Par ailleurs poudres de calcaires et chaux sont ajoutées aux mélanges routiers à base de bitume, en jouant pour les premières un rôle de remplissage, pour les secondes en améliorant la liaison bitume agrégats et la tenue à l'eau, et en ralentissant le vieillissement du bitume.

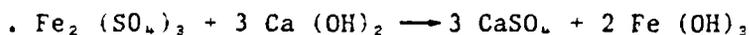
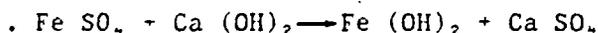
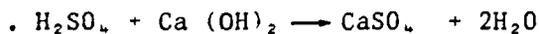
Les poudres et granulats calcaires entrent de leur côté dans la composition des enrobés routiers.

3.7. Environnement, dépollution

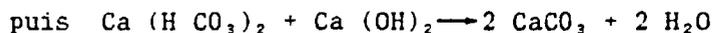
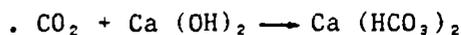
Dans ce domaine de plus en plus sensible (pluies acides, pollution des cours d'eau), la chaux joue un rôle important dans le traitement des eaux et des fumées industrielles. Si la consommation pour le traitement des eaux a tendance à régresser, celle destinée au traitement des fumées est en pleine expansion.

Les principaux modes de traitement sont les suivants :

. traitement des eaux acides, neutralisées pour les réactions successives :



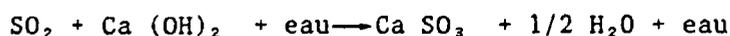
. adoucissement des eaux, afin d'éliminer les bicarbonates et sulfates, ou de neutraliser l'acide carbonique ;



. **épuration des eaux et boues résiduaires urbaines** par action de coagulation et de floculation éliminant matière organique, phosphates, métaux lourds toxiques sous forme d'hydroxydes insolubles, et par destruction de la plupart des bactéries et virus. Ces actions viennent en complément de l'épuration biologique.

La chaux voit actuellement sa consommation progresser très rapidement dans le domaine de la désulfuration des gaz émis par les centrales thermiques notamment le gaz sulfureux SO_2 .

L'élimination se fait par action du lait de chaux :



(le sulfate et le sulfite de Ca obtenus sont inutilisés sauf au Japon et dans les pays dépourvus de gypse).

Dans le cas du traitement des fumées d'ordures ménagères le procédé se fait à sec.

Le chiffre de 74 kt de chaux employées en 1986 paraît faible sachant que près de 3 000 kt de SO_2 sont émis annuellement par les centrales et les industries, et qu'il faudrait le même tonnage de chaux pour neutraliser ce gaz.

3.8. - Agriculture et agro-alimentaire

Les carbonates de calcium et la chaux sont largement utilisés dans ce domaine, aussi bien en qualité d'amendement ou de correcteur de sol, que dans la transformation des produits agricoles (fabrication du sucre), et dans l'alimentation animale et humaine.

3.8.1 - Agriculture

Le calcaire concassé ou broyé, la craie ainsi que la chaux contribuent à améliorer la structure des sols lourds, corrigent leur pH acide, et augmentent l'activité des engrais phosphatés.

De plus le calcium libéré augmente l'activité biologique, sert à la minéralisation des plantes et des animaux qui les consomment.

La chaux présente quant à elle un caractère prophylactique et a une action désinfectante dans les prés, ou anticryptogamique dans le traitement de la vigne (bouillie bordelaise en association avec du sulfate de Cu).

Il a été consommé ainsi plus de 1800 kt de granulés et poudres calcaires ainsi que 260 kt de chaux en 1983 en France, mais ce tonnage a nettement diminué pour les calcaires depuis cette date. Les plus gros consommateurs sont les départements bretons et vendéens (68 kt pour le Morbihan et l'Ille et Vilaine, 60 pour les Côtes du Nord en 1986), et dans une moindre mesure les régions céréalières de Beauce, Brie et Picardie.

L'épandage varie de 600 à 4000 kg CaO ou 1000 à 8000 kg CaCO₃ par hectare et par an, selon le type de sol et de culture.

3.8.2. - Agro-alimentaire et alimentation humaine

L'industrie sucrière utilise un tonnage important de calcaire, mais qui est fonction de la récolte de betteraves. Après calcination le CaO précipite les impuretés contenues dans le liquide extrait des betteraves et des cannes sous forme de sels de calcium insolubles, mais constitue également des saccharates avec le sucre.

Ceux-ci sont alors dissociés par le CO₂ et le calcium séparé sous forme de carbonate. Les écumes de défécation (20 à 25 % CaO) sont utilisées comme amendement.

La consommation varie de 130 à 165 kg de chaux/t de sucre pour la betterave, 2 à 4 kg seulement pour la canne.

La fabrication de gélatine utilise également de la chaux (20 à 30 kt/an).

Dans l'alimentation humaine, un faible tonnage de poudre calcaire est utilisé en confiserie et boulangerie, comme anti-agglomérant (riz), pour la fabrication de pâtes à mâcher etc...

3.8.3. - Alimentation animale

Les carbonates de calcium entrent pour une part importante dans l'alimentation des animaux d'élevage : volailles (126 kt) porcins (54 kt) bovins (~ 50 kt), au total 230 kt en 1985 soit une augmentation de 5 % par rapport à 1980.

La teneur moyenne en CaCO₃ des aliments élaborés est de 1 à 1,5 %, avec des extrêmes de 0 % (veau) à 6 % (poules pondeuses).

Dans ce secteur le prix des carbonates de Ca commerciaux est faible : 200 F/t en 1985.

3.8.4. - Autres usages

La chaux est employée dans les bains de tannerie et de mégisserie, pour épiler et préparer les peaux.

Elle intervient également comme solvant et hydrolisant pour préparer des colles et gélatines à partir des déchets d'abattoirs, et comme neutralisant des sous produits et eaux usées des industries agricoles et alimentaires.

L'ostréiculture utilise la chaux, préparée sous forme d'enduit désinfectant, sur les tuiles où se fixe le naissain.

Il existe encore un grand nombre d'usages traditionnels (désinfection des bâtiments agricoles, conservation, traitement des arbres) qui utilisent chacun un faible tonnage de chaux.

Les poudres calcaires fines quant à elles entrent dans la fabrication de pâtes dentifrices, de cosmétiques et de tablettes et comprimés pharmaceutiques.

4 - CRITERES D'EXPLOITABILITES ET SPECIFICATIONS INDUSTRIELLES

4.1. - Critères de sélection et d'exploitabilité liés au gisement et au matériau

L'évaluation d'un gisement se déduit des études de reconnaissance géologique en prenant en compte l'épaisseur, l'extension et la structure de la couche. Interviennent également la morphologie du gisement et la couverture éventuelle, ainsi que les variations latérales ou verticales de faciès, modifiant les qualités du matériau.

Les critères de sélection sont donc liés d'une part au gisement lui-même, d'autre part au matériau qu'il renferme.

- Critères de sélection liés au gisement

. exploitation obligatoirement à ciel ouvert, avec un taux de couverture généralement faible, 1/10 à 1/1 maximum. Cependant ce taux peut être dépassé en cas de grande valeur ajoutée du produit.

. volume et extension suffisants pour assurer des réserves de plusieurs décennies,

. homogénéité et régularité du gisement, sur le plan de sa structure géométrique (faible pendage, failles absentes ou à faible rejet),

. proximité des voies de communication et des centres de consommations industriels ou agricoles ; toutefois certains produits tels que les charges et les chaux pour des débouchés spécifiques, peuvent supporter des frais de transport relativement élevés,

. contraintes d'environnement, relatives à une exploitation à ciel ouvert (site classé, zones urbanisées ou agricoles etc...)

- Critères de sélection du matériau

. qualité chimique, dépendant de l'utilisation ; les charges exigent plus de 95 % de CaCO_3 , les castines pouvant titrer 80 à 90 % CaCO_3 , et les calcaires pour agriculture moins de 85 % CaCO_3 . La présence de certains composants mineurs, tel qu'oxydes ou silice est à exclure dans la verrerie, la papeterie etc..,

. qualités physiques, par exemple l'indice de blancheur pour les charges, la résistance à la compression ($> 400 \text{ kg/cm}^2$) pour les calcaires à calcination,

. enfin homogénéité et régularité des caractéristiques physiques et chimiques, sauf en cas d'exploitation pour usages multiples où différentes qualités seraient extraites simultanément.

4.2. - Spécifications industrielles

4.2.1 - Utilisations en sidérurgie et fonderie

Les spécifications des castines et de la chaux concernent leurs propriétés physiques et chimiques.

. Castines :

- granulométrie de 40 à 100 mm (Haut-Fourneau), < 5 mm pour l'agglomération, 5 à 100 mm pour les fours d'aciérie,

- résistance à la compression > 400 kg/cm².

- teneur en CaCO₃ > 85 %, la composition élémentaire devant rester dans la fourchette suivante :

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	CO ₂	H ₂ O
51-55 %	0,5-1,8 %	0,8-4 %	0,4-0,8 %	0-0,8 %	40-42 %	0-0,7 %

. Chaux : consommée à raison de 60 - 70 kg/t d'acier, elle doit être très réactive :

- granulométrie régulière 6 - 20 mm. ou poudre < 500 μ,

- grandes porosité et surface interne,

- teneurs en CaO > 93 %, faibles pour les autres éléments

(MgO 1 - 3 %, SiO₂ 1 - 3 %, Al₂O₃ 1 - 3 %, S 0,05 - 0,1 %, CO₂ 1 - 5 %), obtenues par cuisson douce de la chaux.

Les spécifications des chaux utilisées dans la production des métaux non ferreux sont les mêmes que celles des industries chimiques (voir paragraphe 4.2.2).

4.2.2 - Utilisations dans les industries chimiques

Spécifications techniques du calcaire pour fabrication de carbonate de sodium :

. teneurs en CaCO₃ > 90 %, en Mg CO₃ < 2 % et en SiO₂ < 3 %,

. granulométrie de castines comprise entre 30 et 250 mm,

. obtention de gaz riches en CO₂ par chauffage au coke, la qualité finale de la chaux ayant peu d'importance.

Spécifications de la chaux pour fabrication de carbonate de sodium :

- . teneurs en CaO > 92 %, MgO < 1,75 %, SiO₂ < 2 %
Fe₂O₃ et Al₂O₃ < 0,5 %, S < 0,2 %
- . granulométrie identique à celle du coke.

Spécification de la chaux fraîchement éteinte pour fabrication d'hypochlorite de calcium :

- . pureté CaO > 90 %, Fe₂O₃ < 0,3 %, MgO et SiO₂ < 0,5 %
 - . finesse granulométrique et grande réactivité
- pour obtenir un produit à haute teneur en chlore actif.

Spécification de la chaux pour fabrication de carbonate de calcium précipité :

- . pureté CaO > 97 %
- . SiO₂, oxydes métalliques (FeO₃, Mn₃O₄) : ε

Spécification de la chaux pour fabrication de l'oxyde de propylène :

- . pureté CaO > 97 %
- . SiO₂ < 0,3 %

4.2.3 - Utilisations dans l'industrie du verre

Spécifications du calcaire, de la chaux et du carbonate de soude :

Calcaire :

- . granulométrie de 0,1 à 0,5 mm,
- . absence de minéraux infusibles à 1400°C (grenats, sillimanite, zircon) ou fortement colorés (oxydes),
- . composition moyenne

CaO	CO ₂	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃
54,7 %	43,8	0,6	0,7	0,1	0,075	0,001

Chaux : mêmes caractéristiques que pour l'industrie chimique.

Carbonate de soude:

- . pureté 95 %
- . granulométrie < 1 mm

4.2.4 - Utilisations dans la fabrication de charges

Spécifications des poudres pour plastiques et caoutchouc :

- . granulométrie moins de 0,01 % > 80 μ et moins de 0,5 % > 50 μ
- . masse volumique apparente 1 à 1,2 g/cm³
- . M.V. < 0,5 %, insolubles < 1,5 %, alcalinité en Na₂ CO₃ < 0,03 %
Mn < 0,05 %

Une nouvelle norme N.F. T 45005 est parue en Octobre 1986.

Spécifications des poudres pour charge et des chaux pour papeterie :

Charges :

- . CaCO₃ > 98 %, Al₂O₃ < 0,2 %, SiO₂ < 0,5 %, oxydes < 0,2 %
- . absence de particules abrasives pour éviter le rayage des cylindres
- . caractéristiques physiques analogues à celles d'autres charges :
blancheur > 90 %, indice de réfraction de 1,55 à 1,62, finesse > 400 μ , 100 μ ou même 2 μ selon la qualité du papier, surface spécifique supérieure à 1 m²/g

Chaux :

pour papier kraft

- . 95 % CaO (+ MgO)
- . SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ < 3 %

Spécifications des poudres pour charge dans l'industrie de la peinture.

Elles sont fixées par les normes NF T 31104 (craie), T 31105 (carbonate de Ca naturel) et T 31106 (CCP).

Leur degré de pureté doit être > 98 % et il existe plusieurs catégories avec différents pourcentages de classes granulométriques entre 125 et 2 μ .

Pour des utilisations dans les mastics, les spécifications sont moins rigoureuses et l'indice de blancheur peut être faible.

4.2.5 - Utilisations dans la construction, les routes et les travaux publics

Spécifications des chaux pour construction :

. pureté comprise entre 85 et 97 % CaO (chaux grasses) ou inférieure à 85 % CaO (chaux maigres)

. poudre homogène, exempte de surcuits (provoquant des fissures et qui s'hydratent tardivement). Une telle chaux est obtenue par cuisson douce.

Spécifications des chaux à usage routier :

	chaux vive	chaux éteinte
. critères granulométriques	. granulométrie 0 - 2 mm . 90 % < 200 μ . 50 % < 80 μ	. 90 % < 80 μ
. critères chimiques et de réactivité	. teneur chaux libre > 80 % . " " éteinte < 5 % . réactivité à l'eau 60°C en 25 mm	. chaux libre > 50 %

Spécifications des chaux employées dans le traitement des eaux et des fumées :

- . teneurs 90 % CaO, ou 93 % CaO + MgO (USA)
- . en général il faut MgO < 1,5 %
S < 0,1 %
SiO₂ ϵ

4.2.6 - Utilisation en agriculture et dans l'agro-alimentaire

Les spécifications des produits utilisés dans ces différents domaines sont très variables selon leur destination :

. Dans l'agro-alimentaire (sucreries, alimentation) les calcaires doivent être purs et exempts d'éléments toxiques (Pb, Cu, Co, Sr, Cd...)

Le cas est identique pour l'alimentation animale. Ils doivent être de plus suffisamment fins pour être mélangés aux substances nutritives : fillers à 100 μ m, ou de 0,1 à 0,5 mm.

. En agriculture les calcaires sont concernés pour la norme NF U 44001, et les chaux pour sulfatage par la norme NF U 43001 :

- Granulométrie des calcaires :

- . concassé brut > 5 mm
- . broyé 80 % < 5 mm
- . pulvérisé 80 % < 315 μ
- . granulé : pulvérisé aggloméré

- Rapidité d'action déterminée par la solubilité carbonique.

- Réactivité de solubilité citrique en % : moins de 20 à plus de 75 % selon les amendements à action lente à rapide.

- Teneurs CaO (+ MgO) de 25 à 45 % (marnes)
45 % à 55 % (calcaires)
45 % à 55 % (craie)
42,5 % (maërl*)
70 % (chaux vive)
50 % (chaux éteinte)

- La valeur neutralisante de l'acidité est liée à la teneur en CaO et MgO.

La chaux pour sulfatage doit satisfaire aux impératifs suivants :

	Chaux " en roche"	Chaux "en fleur"	Cendrée de chaux
CaO	> 90 %	Ca (OH) ₂ > 90 %	40 à 80 %
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	< 4 %	< 3 %	
Granulométrie		100 % < 800 μ	
		95 % < 125 μ	

* le maërl est un sable calcaire marin, d'origine algale et bioclastique, récolté sur les côtes de Bretagne.

5 - MODES DE TRAITEMENT DES CALCAIRES

5.1 - Fabrication de produits crus

Le traitement des calcaire après extraction, concassage, broyage et criblage, est très diversifié selon la qualité du matériau et l'utilisation envisagée.

. **Sidérurgie** : concassage de 5 à 100 mm pour les castines selon les différents types de fours, et broyage à moins de 5 mm pour l'agglomération par frittage du minerai de fer.

. **Verrerie** : broyage à 0,1 - 0,5 mm pour introduction dans les bains de fusion.

. **Chimie** : concassage à 30 - 250 mm pour la fabrication du carbonate de sodium.

. **Agriculture** : granularité de 5 mm à moins de 315 µm selon la qualité des amendements.

. **Alimentation animale** : broyage fin à 100 µm pour incorporation aux aliments.

Pour la fabrication de **charges** (plastiques, papiers, peintures, pharmacie) les calcaires, très purs et blancs, sont préparés selon divers procédés :

. lavage préalable éventuel du matériau concassé (exemple des calcaires marmoréens des Pyrénées Orientales, pollués par des argiles rouges de karstification).

. Broyage par voie sèche à 0 - 20 µ, dans des broyeurs sécheurs à cyclones, ou dans des broyeurs à billes d'acier, avec séparation des fonctions granulométriques par grilles ou par centrifugation et aspiration.

Les poudres ainsi obtenues peuvent recevoir, notamment celles qui sont destinées aux industries des peintures et des plastiques, des traitements de surface spécifiques, qui leur confèrent des propriétés particulières (hydrophobie par exemple, par liaisons avec des acides gras).

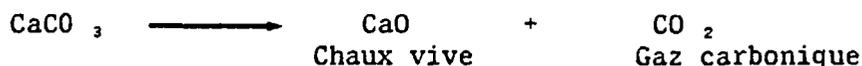
Le stockage des poudres en silos nécessite une fluidisation permanente afin d'éviter le colmatage.

. broyage par voie humide : plus adapté pour les carbonates de calcium crayeux, qui sont broyés à 1 mm puis introduits avec de l'eau (~ 15 %) dans des trommels. La pulpe est ensuite brassée, avec du sable abrasif par exemple, et amenée à différentes coupes granulométriques, jusqu'à 0,7 µ pour les charges papiers.

Les boues résultant de ce broyage sont soit décantées et filtrées sous vide puis séchées et dispersées pour éviter la formation d'agglomérats, soit stabilisées en suspension aqueuses ("slurry") à 65 - 75 % de solides, puis commercialisées sous cette forme. L'ensemble de ces opérations demande une importante quantité d'énergie.

5.2 - Préparation de la chaux

La chaux est obtenue par calcination d'un calcaire concassé et calibré, à une température supérieure à 900°C, selon la réaction :



Avec un calcaire pur on produit une chaux grasse, appelée ainsi chaux aérienne, car elle se recombine avec le CO₂ atmosphérique lors de son utilisation en construction.

Les chaux hydrauliques sont pour leur part obtenues à partir de calcaires argileux, après calcination à une température supérieure à 1 200° C ; elles ont la propriété de faire prise sous l'eau en formant des silicates et aluminates complexes, d'où leur nom.

Le calibrage des calcaires dépend du type de four servant à la calcination.

Dans les **fours verticaux** ou **fours droits**, on introduit des concassés de 20 à 140 mm. Ce type de four est d'origine très ancienne et reste très employé en France car c'est le plus économique sur le plan énergétique.

Les modèles anciens utilisent du coke ou du charbon, introduit au sommet du four, qui se mélange avec le calcaire et rentre en combustion en rencontrant de l'air rechauffé venant de la base du four.

Leur capacité de production est faible, de quelques tonnes à 50 t/jour.

Les fours droits modernes se servent du fuel lourd ou du gaz : le combustible et la chaleur dégagée par sa combustion sont répartis de façon très homogène dans la masse du calcaire à calciner.

La production est homogène, de très bonne qualité avec un rendement énergétique élevé (900 thermies/t de chaux).

Leur capacité varie de 150 à 500 t/j.

Dans les **fours rotatifs**, où le calcaire introduit est plus finement broyé (5 à 40 mm), la consommation énergétique est plus élevée (1300 à 1500 thermies/t. chaux).

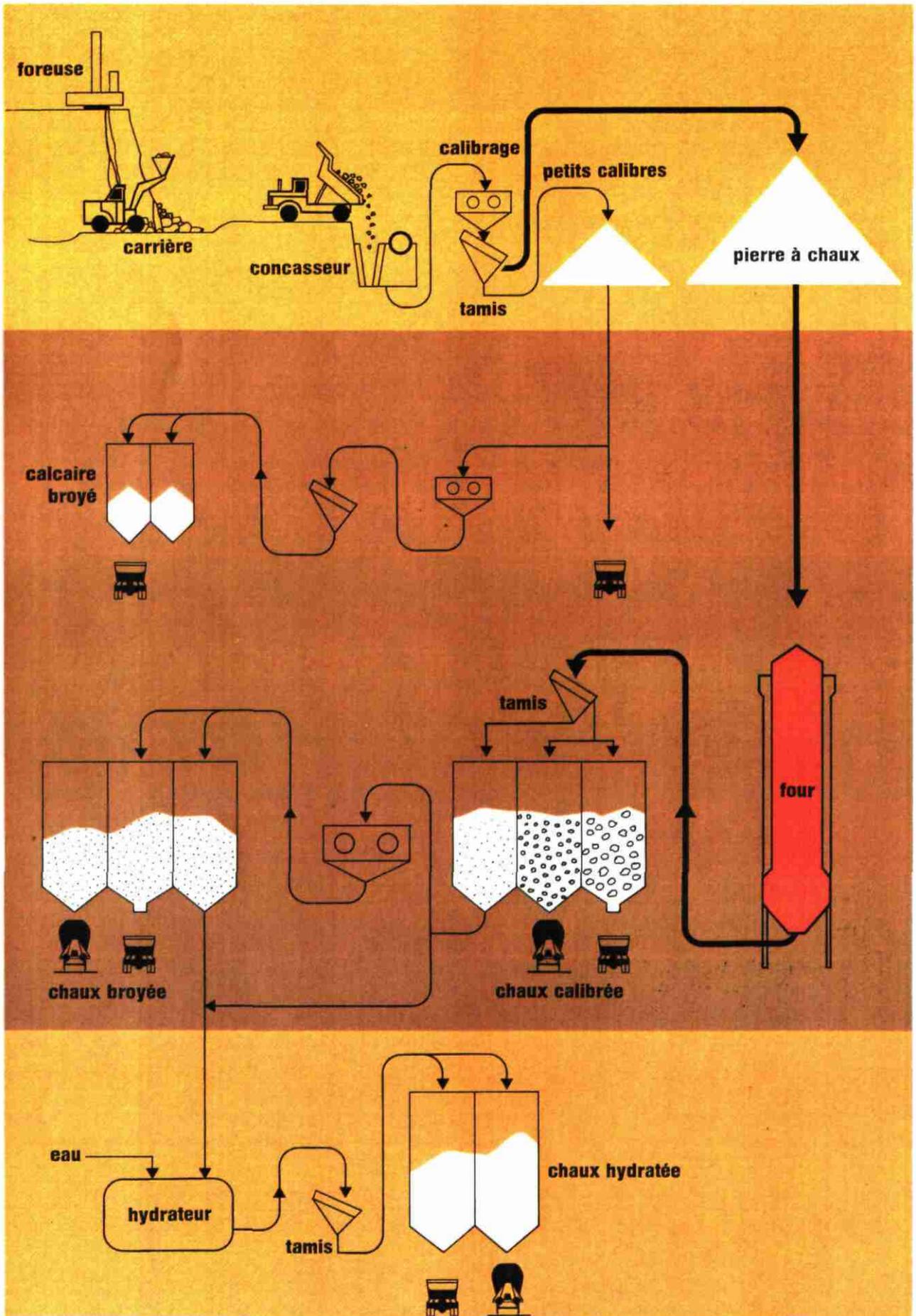


Figure 3 - Schéma de préparation de la chaux

Leurs avantages consistent en une capacité de production importante (jusqu'à 1 000 t/j), à partir de casines de faibles calibres, avec la possibilité d'obtenir des qualités spéciales de chaux.

La chaux obtenues sont commercialisées sous forme de chaux vives, ou de chaux éteintes après mélange avec de l'eau dans des hydrateurs et élimination des impuretés, tamisage et pulvérisation. La figure 3 représente de façon schématique les différentes étapes qui ont été décrites.

6 - PRODUITS DE SUBSTITUTION

Compte-tenu des prix très bas des carbonates de calcium naturels et de la chaux, il existe peu de produits de substitution compétitifs, à moins que ceux-ci ne présentent des avantages techniques indéniables.

. **Sidérurgie** : la dolomie et l'olivine sont de meilleurs fondants et agglomérants que le calcaire et permettent d'économiser des calories. De plus l'olivine favorise l'agglomération des fines de minerai de fer.

Cependant la teneur en MgO du laitier doit être < 8 % pour que la viscosité ne soit pas trop forte, ce qui limite l'emploi de matériaux magnésiens.

. **Industries chimiques** : la dolomie peut concurrencer le calcaire dans la fabrication de carbonate de sodium, car elle est calcifiable à une température inférieure. Cependant c'est un critère économique qui détermine l'emploi du calcaire, situé à proximité des centres de production de sel, alors que la dolomie est plus éloignée.

. **Charges** : dans l'industrie des peintures les charges telles que la talc, le kaolin ou le mica ont des coûts 2 à 3 fois supérieurs à ceux des carbonates de Ca. Seule là dolomie peut être compétitive, et remplace parfois le calcaire (dans le Blanc de Paris par exemple).

. **Verres et céramiques** : une certaine quantité de CaO est toujours indispensable, ce qui permet l'utilisation de feldspaths, phonolites, dolomies, contenant Ca. Mais, outre le coût probablement plus élevé des deux premiers matériaux, l'usage de calcaires purs et profondément ancré dans la tradition de l'industrie verrière en France, et l'emploi des feldspaths et de la phonolite reste très restreint.

. **Traitement des eaux** : la dolomie peut être employée pour extraire CO₂, P, As, SiO₂, F, dans les eaux usées des industries textiles.

. **Agriculture et agro-alimentaire** : les amendements contenant Mg + Ca sont meilleurs que ceux contenant uniquement Ca, car ces 2 éléments sont indispensables au métabolisme des organismes végétaux. Aussi la dolomie est autant utilisée dans ce domaine que le calcaire, et le serait davantage si les gisements étaient plus nombreux et mieux situés.

De même dans l'industrie sucrière la dolomie convient à l'extraction du sucre à partir des mélasses.

Elle peut être utilisée comme abrasif doux dans les pâtes dentifrices.

La dolomie se présente donc comme le principal produit de substitution, mais elle est moins répandue que les calcaires et craies, et son coût de transport peut être pénalisant.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Répartition de la production de calcaires, craies et marbres à usage industriel (ciments exclus) et à usage agricole en France

Figure 2 - Répartition géographique des producteurs de chaux en France

Figure 3 - Schéma de préparation de la chaux.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Statistiques des productions, consommations et échanges commerciaux des carbonates de calcium naturels et produits dérivés en France

Tableau 2 - Statistiques des consommations de carbonate de calcium et de produits dérivés par secteurs d'activité en France

Tableau 3 - Répartition de la production de chaux dans divers pays industrialisés en 1985

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BERTON Y. - P. LE BERRE (1981) - Guide de prospection des matériaux de carrière - Méthodes et Manuels B.R.G.M. n° 5.
- Carrières et matériaux : Extraction de calcaire en Beauce et agriculture - n° 200 - Mars 1982.
- Carte Géologique de la France à 1/1.500.000.
Notice explicative.
- C.E.L.A.C. - Les amendements calciques et magnésiens - Paris.
- Statistiques des livraisons d'amendements calciques et magnésiens - 1986.
- CERIPEC - Centre d'Etude et de Recherches des Industries de Pointures, Encres et Couleurs fines.
- Chambre Syndicale de la Sidérurgie française - Bulletin statistique 1986 - n° 866.
- Ciments - Bétons - Plâtres - Chaux - n° 2/87 - 765.
- Ciments et chaux - n° 778 - Mai 1987.
- EULRY M. (1987) — Données économiques et techniques sur quelques matériaux de carrière en Languedoc - Roussillon. Les dolomies, les calcaires, le gypse et les minéraux alumineux - Rapport B.R.G.M. 87 LRO 715 PR.
- Fédération des chambres syndicales de l'Industrie du Verre - Rapports d'activité (1985 - 1984 - 1983 - 1980 - 1979).
- GRES M. (1979) - Mémento substances utiles (Matériaux de Carrière) Calcaires et Chaux Industriels - Rapport B.R.G.M. 79 SGN 147 MTX.
- Industrial Minerals - Mineral for paint - Décembre 1985.
- Industrial Minerals - White carbonate fillers - An ocean of difference - Aout 1987.
- Industrial Minerals and Rocks - 5th Edition Vol. 2. Society of mining engineers NY 1983.
- INRA - Documentation inédite.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'équipement, du logement et du tourisme. - La Craie - Octobre 1973.
- Meuse Economique : Revue de la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Meuse - n° 21 - Mars 1978.
- Minerals Year book - Vol. 1 - US Department of the interior - 1986.
- Statistiques du commerce extérieur de la France - Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget. 1982 - 1983 - 1984.

**Syndicat national des fabricants de ciments et de chaux - Annuaire 1982.
Annuaire 1986.**

**Syndicat national des fabricants de ciments et de chaux : - La chaux
dans les techniques routières.**

**TRIAT J.M. (1982) - Pierres utiles de Provence - Cahiers de
documentation - Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille.**

**TRUC G., PHILIPPE M. (1979) - Ressources minérales du Vaucluse -
Chambre de Commerce et d'Industrie d'Avignon et de Vaucluse.**

**UNICEM - Matériaux de construction et produits de carrières.
Statistiques 1983 - 1984 - 1985 - Annuaire 1987.**

réalisation
service
reprographie
du BRGM

