

Les Liants

Sommaire

1. Généralité, Generality,
2. Le Ciment, Cement
3. La Chaux, Lime
4. Le Plâtre, Plaster

I.1 Généralité :

On désigne sous le nom de liant des produits utilisés pour lier ou agglomérer entre eux d'autres matériaux.

Selon leur composition, les liants peuvent être classés en deux grandes familles :

- ☛ Liants minéraux
- ☛ liants organiques

I.2 Liants minéraux :

Les liants minéraux sont généralement obtenus par traitement à haute température de matière minérale. Selon leur mode de durcissement, ils peuvent être classés en deux familles :

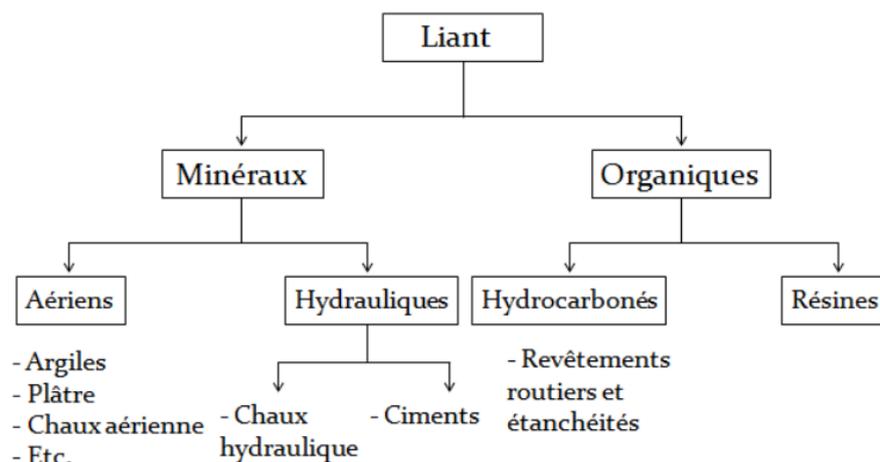
- 1- **Liants aériens** : durcissement à l'air dû à une réaction de carbonatation (réaction avec le gaz carbonique compris dans l'air) : chaux aériennes « chaux grasse », plâtres, argiles ;
- 2- **Liants hydrauliques** : durcissement en milieux humides ou dans l'eau dû à une réaction d'hydratation de silicates ou d'aluminates : chaux hydrauliques, ciments.

I.3 Liants organiques :

Les liants organiques sont synthétisés par des organismes vivants, ou par la science de l'homme, au départ de matière minérale ou de matière organique préexistante. On distingue :

- 1- **Liants hydrocarbonés** : bitumes, goudrons ;
- 2- **Résines et surtout les polymères** : les aminoplastes, par exemple, sont des polymères largement utilisés comme liants dans l'industrie du bois et de ses dérivés.

Les liants ont un champ d'application très large, on les utilise pour la fabrication du mortier, du béton, du béton préfabriqué, etc....



Classification des liants

II. Les ciments,

II.1 Introduction :

Le ciment occupe la première place parmi les liants servant à lier les matières solides tels que les granulats et pierres.

Le ciment gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Après durcissement, Il conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

II.2 Bref historique du ciment

Les Grecs sont les premiers constructeurs à employer la chaux obtenue par cuisson du calcaire. Et les Romains améliorent la technique de la chaux en y ajoutant des cendres volcaniques et des briques pilées et obtiennent ainsi un liant hydraulique, intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment.

En 1817, le Français Louis Vicat, découvrit les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur bien qu'il n'est pas déposé de brevet.

L'Anglais Joseph Aspdin fait breveter en 1824 le ciment "Portland", obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon. La dénomination "Portland", due simplement à la similarité de couleur et de dureté avec la pierre de Portland (Sud de l'Angleterre), est à l'heure actuelle toujours employée dans l'industrie.

II.3 Principe de fabrication ciment portland :

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau :

1. Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
2. Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
3. Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
4. Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).

La fabrication de ciment se fait en six étapes principales :

- 1/ l'extraction des matières premières (Argile et calcaire);
- 2/ l'homogénéisation et dosage;
- 3/ le séchage et le broyage ;
- 4/ la cuisson (calcination) dans le four;
- 5/ le refroidissement ;
- 6/ le broyage.

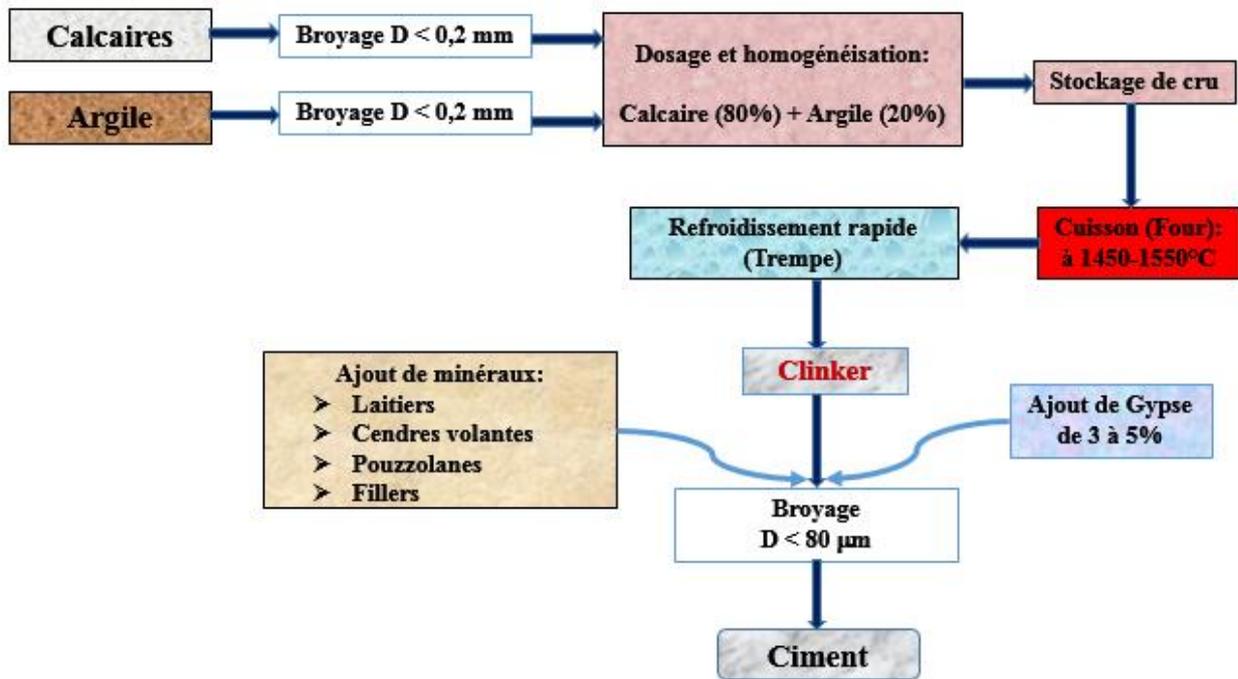
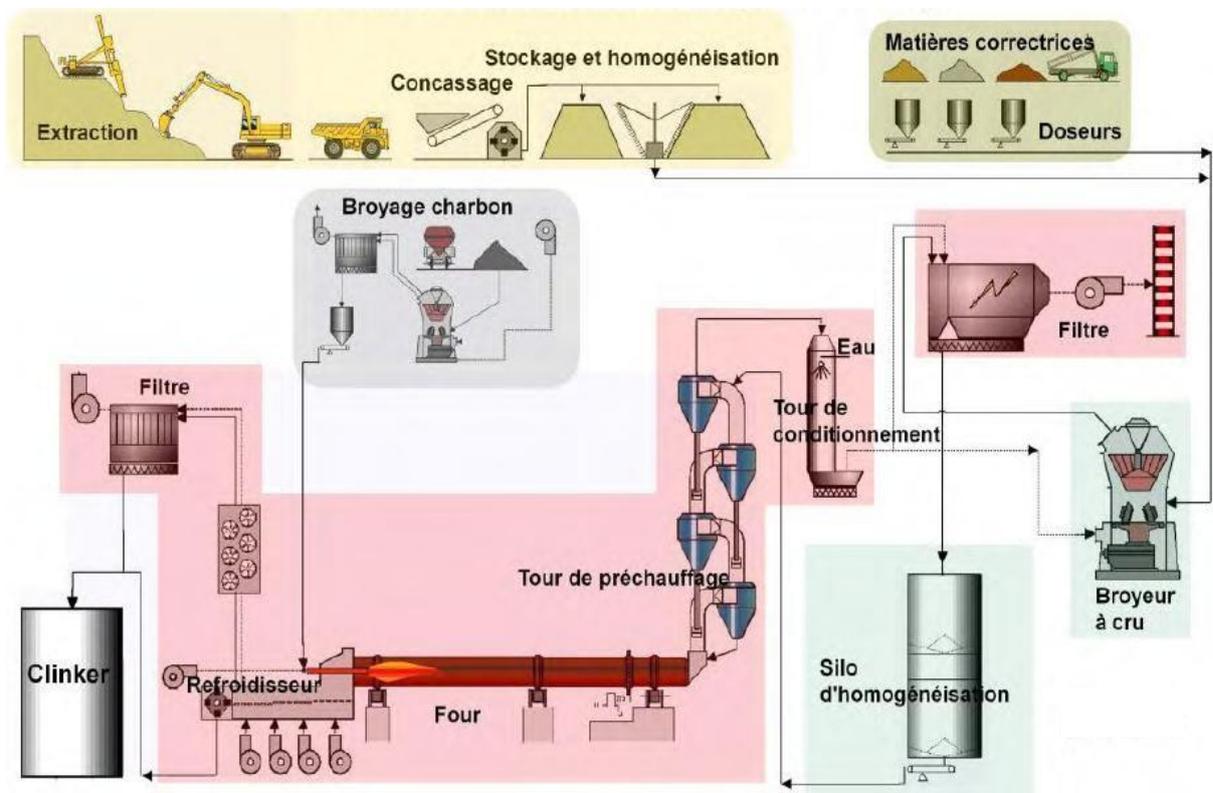


Schéma de la fabrication du ciment



Différentes étapes de fabrication du ciment

II.4 Constituants principaux et additions :

II.5 Constituants du clinker:

À la sortie du four le clinker est composé de :

- Le silicate tricalcique $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ($\text{C3S} = 50-70\%$ du clinker) , Alite.

- Le silicate bicalcique 2CaO , SiO_2 ($\text{C}_2\text{S} = 10\text{-}30\%$ du clinker), Bélite.
- L'aluminate tricalcique 3CaO , Al_2O_3 ($\text{C}_3\text{A} = 2\text{-}15\%$ du clinker), célide.
- L'alumino-ferrite tétracalcique (Ferro-aluminate tétracalcique) 4CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ($\text{C}_4\text{AF} = 5\text{-}15\%$ du clinker), Férite.

II.6 Ajouts cimentaires

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute des quantités d'ajouts afin de modifier ces propriétés hydrauliques, pouzzolaniques et physiques (accroissement de la compacité).

Exemple on ajoute le gypse (max = 5%) pour régulariser la prise du ciment.



Ajouts cimentaires

II.7 Classification et Caractéristiques des ajouts cimentaires

Selon la norme NF EN 206-1, il existe deux types d'addition:

• Les additions de type I:

Ce sont des matériaux quasiment *inertes*, organiques, naturels ou synthétiques qui, par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment portland (maniabilité, Compacité etc....). Parmi ces additifs on distingue :

1/ Fillers :

Ce sont des matières minérales obtenus par broyage de certaines roches (calcaires, Basaltes, laitiers, Bentonites, ...). Ils ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment.

2/ Calcaires (*L*; *LL*) :

Il s'agit de calcaire finement broyé dont la quantité de carbone organique est limitée :

- $L : \leq 0,20\%$
- $LL : \leq 0,50\%$

• Les additions de type II:

Ce sont des matériaux finement broyés à caractère inorganique, pouzzolanique ou hydraulique latent. Parmi ces additifs on distingue :

1/ Cendres volantes (*V*, *W*) *Fly ash* :

Elles sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé.

- Les cendres volantes peuvent être de nature siliceuse (V) ou calcique (W).



Cendre volante

2/ Fumée de silice (D):

Elle provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique. La proportion de fumée de silice dans le ciment est limitée à 10 % en masse, selon NA 442 et EN 197-1 (NA 442, 2000 ; EN 197-1, 1996).



Fumée de silice

3/ Laitier granulé des hauts fourneaux (S):

Obtenu par refroidissement rapide (trempe) du laitier fondu. Les particules de laitier, dont le diamètre est inférieur à 10 μm , contribuent à la résistance du béton aux jeunes âges. Les particules dont les diamètres sont compris entre 10 et 45 μm contribuent au développement des résistances ultérieures.



Laitier granulé de haut fourneau avant broyage

Les ciments aux laitiers résistent mieux aux agressions chimiques (attaques sulfatiques, chlorure).

4/ Pouzzolanes naturelles (P, Q):

Ce sont des substances naturelles siliceuses ou silico-alumineuses. Elles se présentent en deux sortes :

- ✓ Des substances d'origine volcanique (verre volcanique, ponce, rhyolite, tuf, zéolite).

- ✓ Des argiles et des schistes activés thermiquement (calcinés).
- Elles sont naturellement actives (P) ou activées thermiquement (Q).



Pouzzolane naturelle

5/ Schiste calciné (T) :

Le schiste calciné, et en particulier le schiste bitumineux calciné, est produit dans un four à une température d'environ 800°C. En raison de son mode de fabrication, il contient des phases de clinker et des oxydes à caractère pouzzolanique.

6/ Méta kaolin :

Le méta kaolin est obtenu par calcination d'argile kaolinique ($T^{\circ} = 650$ et 850 °C), suivie d'un broyage permettant d'atteindre une finesse très élevée. Le matériau obtenu présente une pouzzolanité élevée et peut être considéré comme une addition très active.

Remarque : en fonction de la nature des constituants utilisés et de leur dosage, **il existe une grande variété de types de ciments.**

II.8 Les principales catégories de ciment portland :

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale. Suivant leur nature et leur proportion, 27 familles de produits réparties en 5 types.

II.9 Classification des ciments en fonction de leur composition :

Les normes NA 442 et EN 197-1 définie cinq grandes catégories (types) de ciments courants. Ils sont classés en fonction de leur composition, Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne:

- ☛ CEM I : Ciment portland pur (CPA - dans la notation française),
- ☛ CEM II : Ciment portland composé (CPJ),
- ☛ CEM III: Ciment de haut fourneau (CHF),
- ☛ CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ),
- ☛ CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

Tableau 1 : Différents types de ciment et leur composition

	CEM I	CEM II /A	CEM II /B	CEM II /A-M	CEM II /B-M	CEM III /A	CEM III /B	CEM III /C	CEM IV /A	CEM IV /B	CEM V /A	CEM V /B		
Clinker portland (K)	95-100	80-94	65-79	80-94	65-79	35-64	20-34	5-19	65-89	45-64	40-64	20+48		
Calcaire (LL)		6-20	21-35	6-20	21-35									
Laitier de haut fourneau (S)								36-65	66-80	81-65			18-30	31-50
Fumée de silice (D)											11-35	36-55		
Pouzzolanes naturelles (P)													18-30	31-50
Cendres volantes siliceuses (V)														
Schistes calcinés (T)														
Gypses (CS)	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5		

II.10 Classification des ciments en fonction de leur résistance normale :

Trois classes de résistance normale sont couvertes: **32,5, 42,5 et 52,5**

- ✓ Pour chaque classe de résistance normale, une sous-classe de résistance aux jeunes âges est définie (L, N et R).
- ✓ Pour tous les types de ciments, la résistance à la compression, déterminée selon EN196- 1 (résistance en compression sur éprouvette normée) doit satisfaire aux spécifications du tableau suivant.

Tableau 2 : Spécification physiques et mécaniques des ciments (EN 197-1)

Classe de résistance	Résistance à la compression MPa				Temps de début de prise min	Stabilité (expansion) mm
	Résistance à court terme		Résistance courante			
	2 jours	7 jours	28 jours			
32,5 N	---	= 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≥ 10
32,5 R	≥ 10,0	---				
42,5 N	≥ 10,1	---	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	---				
52,5 N	≥ 20,1	---	≥ 52,5	---	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	---				

II.11 Principales Propriétés du ciment :

II.12 Propriétés physiques

II.13 Masse volumique apparente

Elle représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est en moyenne de 1 000 kg/m³.

II.14 Masse volumique absolue

Elle représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de 2 900 à 3 150 kg/m³ suivant le type de ciment.

II.15 Finesse de mouture (Surface spécifique)

L'hydratation du ciment commence sur la surface des grains, donc c'est la superficie totale des grains qui représente le matériau disponible pour l'hydratation. La vitesse d'hydratation dépend donc de la finesse des grains de ciment. Pour avoir une hydratation rapide et une résistance élevée à court terme, une finesse importante du ciment est exigée.

La finesse de mouture (finesse de Blaine) est exprimée en (cm^2/g) et déterminée par la méthode de Blaine « **Perméabilimètre de Blaine** », conformément à la norme NF EN 196-6. Sa valeur est généralement comprise entre 2 800 et 5 000 cm^2/g .

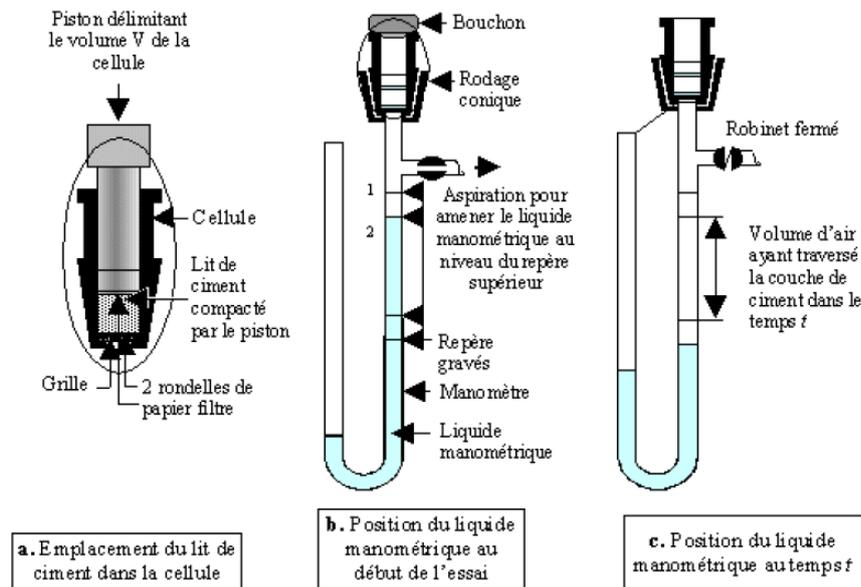
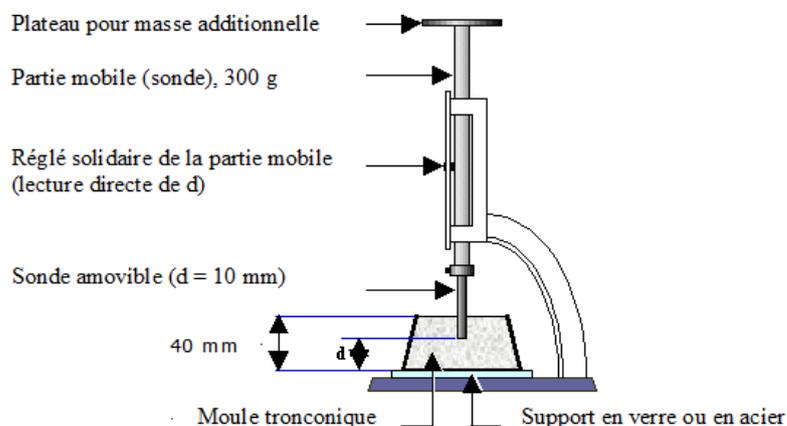


Schéma de perméabilimètre de Blaine

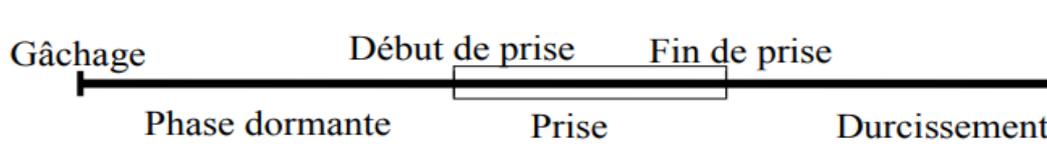
II.16 La consistance :

La consistance est le pourcentage optimal d'eau qui permet d'obtenir une pâte de ciment de consistance normale. On utilise généralement l'appareil de "Vicât" pour mesurer cette consistance et selon la norme NF EN 196-3 : 2017.



Appareil Vicat**Détermination du temps de début et fin de prise****Début et fin de prise :**

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps.



Le **début et fin de prise** de ciment sont déterminé par l'Appareil de Vicat.

- ☛ **Début de prise** : correspond au moment où l'on observe une augmentation de la **viscosité**, ou raidissement de la pâte. C.à.d. le changement d'un état fluide de la pâte cimentaire à un état plastique.
- ☛ **Fin de prise** : correspond au moment de la transformation progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide.

Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres :

- ☛ Type du ciment,
- ☛ Finesse de mouture du ciment; plus la finesse est élevée, plus le temps de prise est court,
- ☛ Température ambiante; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température est élevée plus la prise est rapide.
- ☛ L'excès d'eau de gâchage à une action retardatrice sur la prise

II.17 Le durcissement :

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

II.18 Le retrait :

Le retrait est la diminution du volume apparent de la matière ; il est mesuré sur des éprouvettes, de mortiers normalisés, de dimensions : $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, conservées à l'air de température $T = 20^\circ\text{C}$ et d'humidité relative de 80%.

Il existe plusieurs types de retrait :

- ☛ Retrait avant prise dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation.
- ☛ Retrait hydraulique, qui découle d'une part de la contraction Le Chatelier (le volume des hydrates est inférieur au volume des constituants de départ).
- ☛ Retrait thermique, qui est dû à la contraction du mortier lors de son refroidissement.

L'importance du retrait hydraulique, en général, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- ✓ La nature du ciment;
- ✓ Le dosage en eau, rapport E/C ;
- ✓ La propreté des sables.
- ✓ La forme et la dimension des granulats.

II.19 Expansion (gonflement):

Les volumes des pâtes de ciment, les mortiers et les bétons gonflent en présence d'humidité ou d'eau. L'expansion est mesurée selon NF EN 196-3, on utilisant le même appareil que celle du retrait. Les principales causes de l'expansion sont :

- Excès de gypse,
- Excès de la chaux libre (CaO).
- Excès de magnésium libre (MgO).

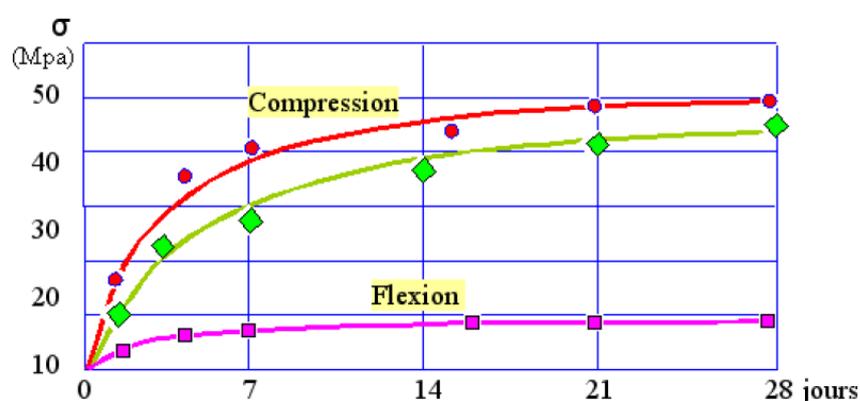
II.20 Propriétés mécaniques

Les résistances mécaniques des ciments, en compression, en traction par flexion, sont déterminées sur des éprouvettes ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) en mortier normal à 28 jours d'âge. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Les figures 3.9 (a) et (b) montrent l'évolution des résistances des différents produits d'hydratation du ciment.

II.21 Résistance à la compression :

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier normalisé, à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) et conformément à la norme EN 196-1. Elles sont exprimées en (MPa).

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.



Résistances d'un mortier normal

II.22 Nomenclature et emplois des ciments

La gamme étendue de compositions, de résistances, de vitesse de prise et de durcissement répond aux usages très divers qui sont faits du béton sur chantier ou en usine, pour la réalisation de bâtiments, ou de structures de génie civil.

II.23 Principe de dénomination normalisée

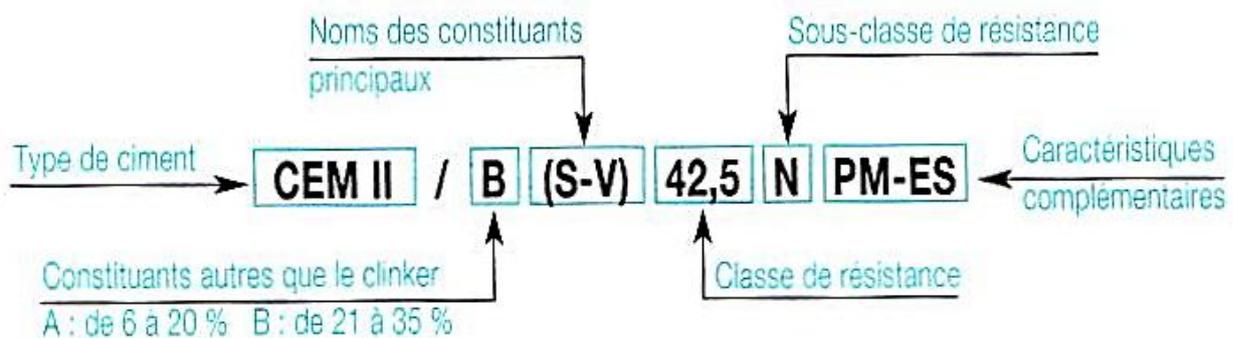
La dénomination d'un ciment suit le principe suivant :

- 1- type de ciment : CEM I à CEM V
- 2- classe de ciment : A, B ou C suivant les proportions de clinker
- 3- nombre de constituants autre que le clinker : rien = un seul constituants - M = au moins deux constituants
- 4- la nature des constituants autres que le clinker
- 5- la classe de résistance à long terme du ciment (32,5 - 45 - 52,5 MPa)
- 6- la classe de résistance à court terme du ciment : L = faible - N = normale ou ordinaire - R = élevée
- 7- la certification CE
- 8- les spécifications complémentaires : PM = Ciment Prise Mer = pour travaux à la mer - ES = Ciment pour travaux en Eaux à haute teneur en Sulfates - CP1 ou CP2 = Ciment à teneur en sulfures limitée pour bétons précontraints.
- 9- le marquage NF

II.24 Nomenclature des ciments

La nomenclature des ciments se fait suivant deux critères principaux :

- ☛ La résistance mécanique à 28 jours
- ☛ La teneur en clinker



Avec:

- 1- Teneur en clinker (**K**), constituant principale du ciment:
Plus élevée (**A**), moins élevée (**B**) ou faible (**C**).
- 2- Constituant secondaires :
Laitier de haut fourneau (**S**),
Calcaire (**L, LL**),
Fumée de silice (**D**),
Pouzzolane : Naturelle (**P**) ou naturelle calciné (**Q**),
Cendres volantes : siliceuse (**V**) et calcique (**W**),
Schiste calciné (**T**),

- 3- Développement de la résistance à court terme : Normale (**N**) et Rapide (**R**).
- 4- Classe de résistance à la compression à 28 jours en MPa : **32,5** , **42,5** et **52,5**.
- 5- Caractéristiques particulières (Norme EN 197-1) :
 - Chaleur d'hydrations modérée (**LH**, Low Heat),
 - Ciment résistant aux sulfates (**SR**).
 - Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (**ES**, suivant NF P 15-319),
 - Ciments pour travaux à la mer (**PM**),
 - Ciments à teneur en sulfures limités pour béton précontraint (**CP**, suivant NF P 15-318).
- 6- Marquage et certifications :
 - Conformité européenne règlementaires (**CE**),
 - Marque de certification Algérienne (**NA**)
 - et Marque de certification française délivrée par AFNOR (**NF**).

CEM II /A - LL 32,5 R CE CP2 NF

- CEM II : Ciment de type 2
- A : Contenant 80 à 94% de clinker
- LL : contenant 6 à 20% de fine calcaire à moins de 0,5% de carbone organique
- 32,5 : de 32,5 de résistance caractéristique à 28 jours
- R : à durcissement rapide
- CE : possède un certificat de conformité CE
- CP2 : à teneur en sulfate limitée
- NF : certifié conforme à la marque NF.



II.25 Choix des ciments.

Le choix du ciment le plus approprié dépend des exigences climatiques, résistance à des agents agressifs.

- ✓ Dans les travaux en maçonnerie (mortiers de joints, d'enduits). Il est préférable d'utiliser au mieux des ciments à maçonner ou encore des mortiers bâtards à la chaux hydraulique.
- ✓ Pour le béton armé (ossatures, ouvrages d'art...) les liants les plus indiqués sont les **ciments portlands artificiels ordinaires**.
- ✓ Pour les travaux en fondation ou en souterrain, surtout si le milieu est agressif, les ciments les plus utilisés sont les **ciments de laitier, ternaires et sur sulfatés**.
- ✓ Pour les ouvrages massifs (barrages), il faut utiliser des portlands à faible chaleur d'hydratation tels que les ciments siliceux faible en alumine, les **ciments à base de laitier, les ciments ternaires et les ciments pouzzolaniques**.

- ✓ Pour les travaux en prise à la mer les ciments utilisés sont les **ciments alumineux** on peut utiliser également des portlands artificiels spéciaux dont la teneur en aluminat tricalcique est limitée, et les **ciments à base de laitier, ternaires, pouzzolaniques**.

II.26 Utilisation des ciments

En Algérie, Le Groupe GICA produit le Ciment Portland, pour répondre aux besoins du secteur de la construction et du BTP.

<p style="text-align: center;">CEM II 32,5 :</p> <p>Ce ciment est idéal pour les travaux courants de maçonnerie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crépissage de mur. - Chape 	
<p style="text-align: center;">CEM II 42,5 N ou CEM II 42,5 R :</p> <p>Il convient pour la fabrication de mortiers et tous travaux de béton armé, développant des résistances moyennes.</p> <p>Il est aussi utilisé dans le secteur du bâtiment (Habitations, Immeubles administratifs et d'écoles).</p>	
<p style="text-align: center;">CEM I 52.5 N</p> <p>Il est utilisé pour les grands travaux nécessitant une haute résistance.</p>	
<p style="text-align: center;">CEM II 42.5 SR 5 et CEM II 42.5 SR 3</p> <p>Le Ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) est constitué de : 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment et du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.</p>	

II.27 Normalisation

Les ciments possédant des caractéristiques font l'objet de normes spécifiques :

- ☛ Ciments pour travaux à la mer (PM) : **Norme NF P 15-317** ; 2010
- ☛ Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES) : **Norme NF P 15-319** ;

- ☛ Ciments à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint (CP) : **Norme NF P 15-318**;
- ☛ Ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme : **Norme NF EN 197-4** ;
- ☛ Ciments sursulfatés (CSS) : **Norme NF P 15-313**.

- ☛ **NF EN 196-1**, "Méthodes d'essais des ciments – partie 1 : Détermination de la résistance", 1996, 31 p.
- ☛ **NF EN 196-3**, "Méthodes d'essais – partie 3 : détermination du temps de prise et de stabilité", 1996, 13 p.
- ☛ **NF EN 196-6**, "Méthodes d'essais des ciments – partie 6 : détermination de la finesse", 1996, 17 p.
- ☛ **NF EN 197-1, Avril 2012** : Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

La norme **NF EN 197-1** est subdivisée en trois rubriques :

- 1- Une partie descriptive qui définit les constituants du ciment et délimite les différents types de ciments ;
 - 2- Une partie qui fixe les classes de résistance, les spécifications mécaniques et physico chimiques ;
 - 3- Une partie consacrée aux critères de conformité, aux procédures de vérification et aux seuils de garantie.
- ☛ **NA 442**, "Liants hydrauliques – Ciments courants : Composition, spécifications et critère de conformité", IANOR, Alger, 2000, 30p.

I. Référence Bibliographiques

La chaux, (Lime), الجير

III.1 Introduction

Matériau connu et utilisé depuis plus de 6000 ans, la chaux est aujourd'hui un produit de base essentiel dans un champ de domaines industriels extrêmement vaste. Ses qualités physico-chimiques lui confèrent des propriétés de choix dans différents domaines, et lasse, dans le domaine du bâtiment, la chaux enregistre un faible taux d'utilisation. Néanmoins, avec le développement des restaurations et des réhabilitations de bâtiments anciens et avec le nombre croissant des travaux dans le domaine, l'emploi de la chaux depuis ces dernières années commence à se revigorer.

III.2 Rapide historique de la chaux

- 500 ans avant J.-C. environ : Les Chinois ont construit les 2 500 km de la Grande muraille de Chine en stabilisant le sol avec de la chaux et en utilisant des mortiers à base de chaux pour assembler les pierres.

Des Antiquités romaines au XVIIIe siècle : La chaux était largement utilisée dans toute l'Europe en tant qu'enduit et peinture décorative et servait comme matériau principal des maisons.

XVIIIe et XIXe siècle : Black et Lavoisier décrivent la réaction chimique de la chaux. Debray et Le Chatelier découvrent d'autres qualités et applications.

XXe et XXIe Siècles : La prolifération de nouvelles innovations, notamment la naissance et le développement rapide des technologies, ont élargi l'usage de la chaux.

III.3 Définition :

La chaux (CaO), est un liant obtenu par calcination du calcaire naturel plus ou moins argileux.

Le calcaire : $CaCO_3$ (minéral ou roche) $\xrightarrow{1000^\circ C}$ CaO (solide) + CO_2 (gaz).

Le calcaire contient plus ou moins des "impuretés" :

- ☛ La dolomie : double carbonate de calcium et de magnésium - $CaCO_3.MgCO_3$;
- ☛ Des composés argileux: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ...

D'où les proportions de ces différentes "impuretés" peuvent modifier le comportement de la chaux.



Une roche calcaire

III.1 Fabrication de la chaux aérienne

Les principales étapes de fabrication sont résumées dans le schéma de la figure.

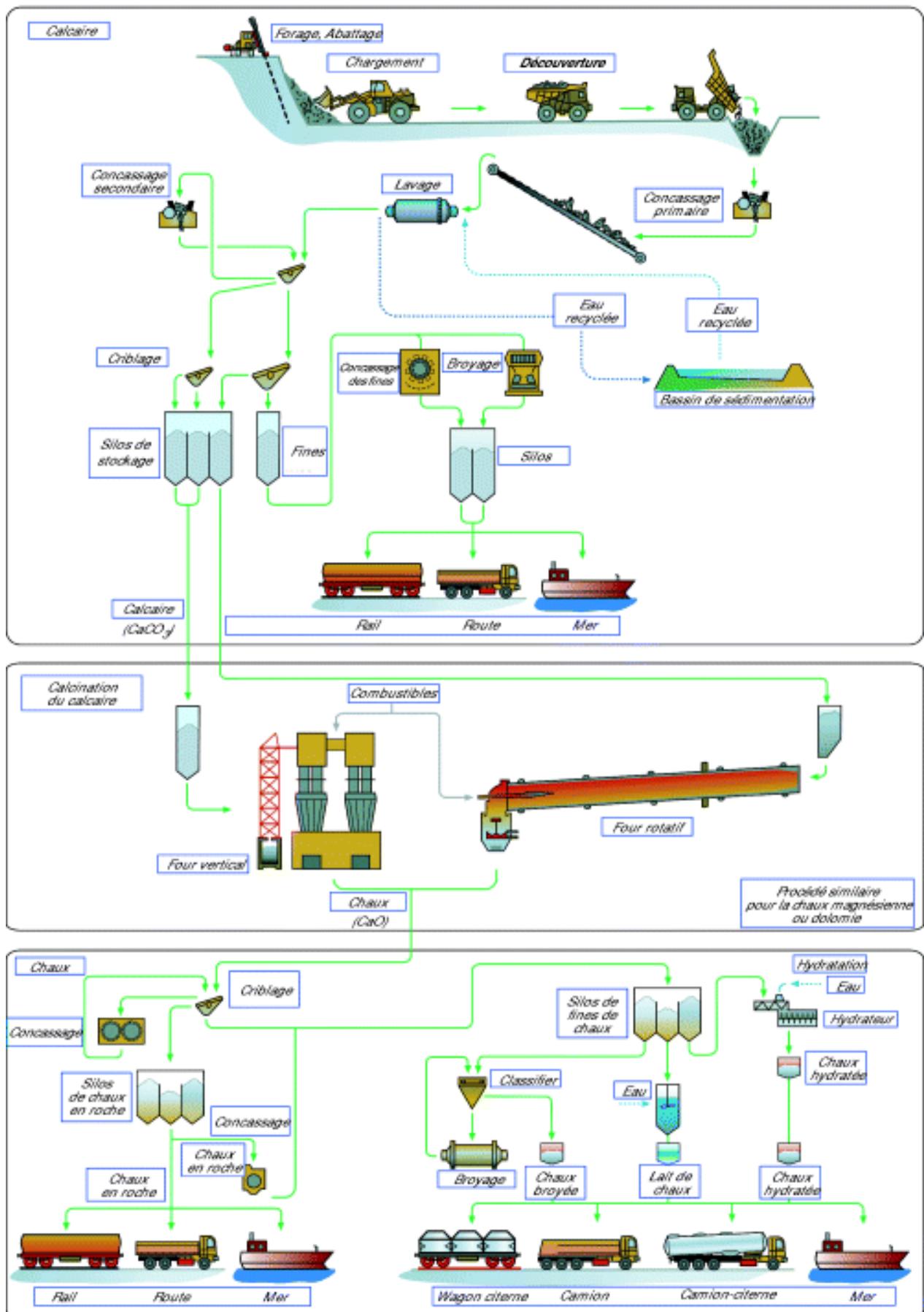


Schéma de production de la chaux (Crédit Lhoist)

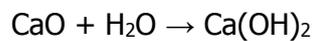
On distingue successivement la phase amont, qui va de l'extraction, à la préparation du calcaire avant enfournement, la calcination de la pierre dans les fours, et la phase aval qui concerne l'élaboration et le conditionnement du produit final avant chargement pour expédition.

III.1 Le cycle de la chaux aérienne

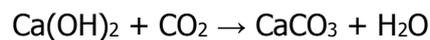
Les différentes réactions chimiques liées à la chaux

1- Par chauffage : Le Calcaire (CaCO_3) $1000\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

2- Par Hydratation :



3- Par Carbonatation :



Cycle de la chaux

De ces réactions chimiques on en déduit de cycle de la chaux :



Cycle de la chaux aérienne

Trois étapes essentielles peuvent être tirées de la figure :

- La calcination de la roche calcaire produit de la chaux vive avec une perte de gaz carbonique,
- L'extinction à l'eau de la chaux vive produit de la chaux éteinte,
- la carbonatation, au contact de l'air, de la chaux éteinte produit le durcissement de la matière par reformation de calcite.

III.2 Typologie des chaux

La chaux vive

Le feu transforme le calcaire pur en "chaux vive". C'est un matériau instable, une base forte avide d'eau, agressive pour la peau et les matières organiques qu'elle brûle.

La chaux se présente sous trois formes commerciales:

- 1- La chaux vive : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Chaleur (15,5 kcal)}$
- 2- La chaux hydraulique (éteinte) : $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- 3- Les pâtes et le lait de chaux : $\text{Ca}(\text{OH})_{2+n}(\text{H}_2\text{O})$.

III.2.1 Chaux calciques et chaux dolomitiques

- ☛ **Les chaux calciques** (grasses): contiennent plus de 95% d'oxydes de calcium CaCO_3 et moins de 5% d'oxyde de magnésium (MgCO_3).
- ☛ **Les chaux dolomitiques** (maigres): contiennent au moins 5% d'oxyde de magnésium (MgCO_3).

- $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$

III.2.2 Chaux aériennes et chaux hydrauliques

La caractérisation de l'hydraulicité des chaux (son aptitude à durcir au contact de l'eau) est liée à leur teneur en matière argileuse. On peut donc calculer l'indice d'hydraulicité qui traduit cette propension.

L'indice d'hydraulicité est calculé en fonction des rapports de poids entre les trois substances contenues dans le calcaire : la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de fer (Fe_2O_3).

$$i = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

☛ Chaux aériens

- Si cet indice est inférieur à 0,1 ($i \leq 0,1$): la chaux n'aura peu voire aucun caractère hydraulique. Elle ne durcit qu'au contact avec l'oxyde carbonique (CO_2), contenu dans l'air.

☛ Chaux hydraulique

- Au-delà de 0,1 ($i > 0,1$) la chaux devra être considérée comme ayant des caractéristiques hydrauliques.

Suivant les valeurs de i , les chaux sont plus ou moins hydrauliques, le tableau 4.1 donne les différents types de chaux en fonction de l'indice i .

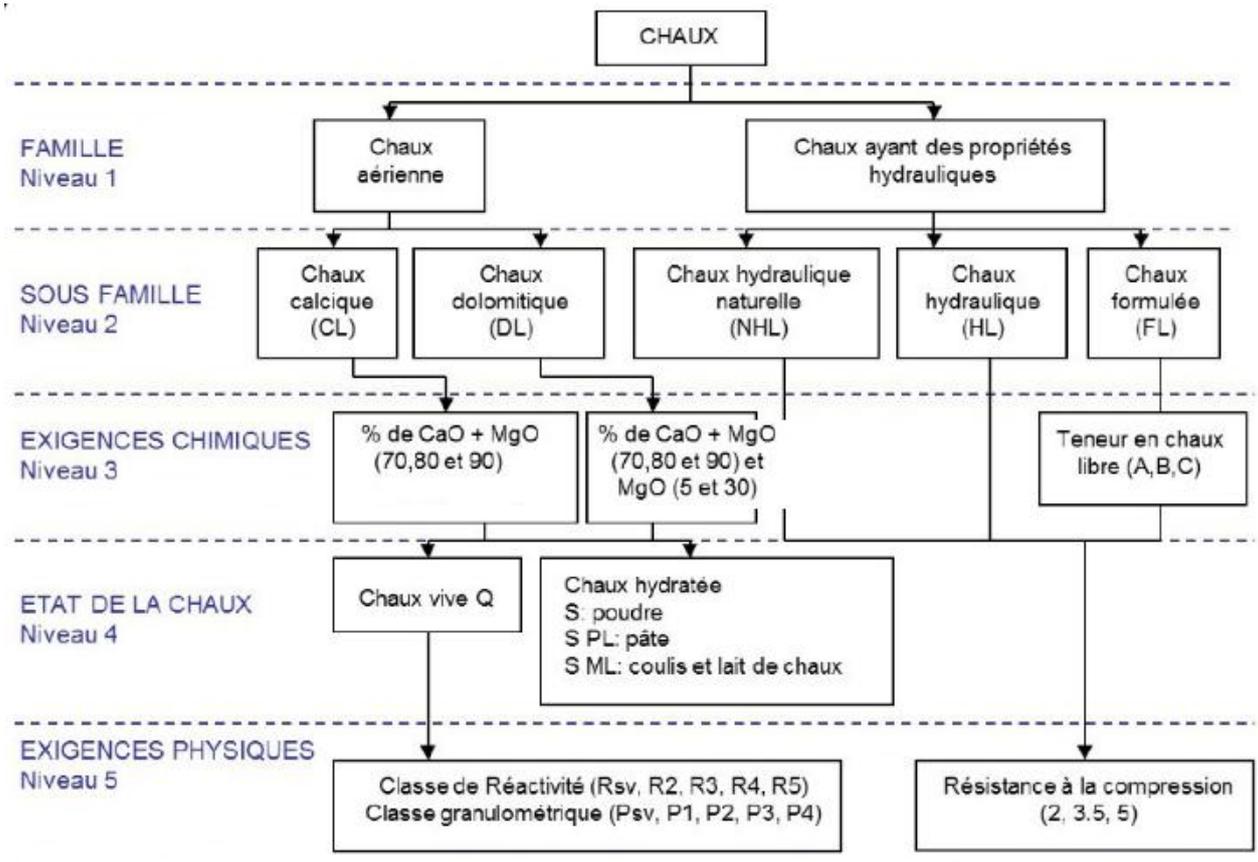
Tableau 4.1. Classification de la chaux en fonction de l'indice d'hydraulicité i

Type de chaux	% d'argile	Valeur de i	Durée de prise sous l'eau
Chaux grasse « chaux purement aérienne »	0	0 – 0,1	6 moins
Chaux faiblement hydraulique	5 - 8	0,10 –	15 à 30 jours
Chaux moyennement hydraulique	8 - 15	1,16	10 à 15 jours
Chaux fortement hydraulique	15 - 20	0,16 –	2 à 4 jours
Chaux éminemment hydraulique « chaux maigre ».	20 - 30	0,30 –	Inférieure à 2 jours
		0,30 –	
		0,40 –	
		0,40 –	
		0,50	

On observe que :

- Si le mélange ne contient ni silicate, ni aluminate, ni ferrite, l'indice d'hydraulicité vaut $i = 0$ et correspond à une chaux purement aérienne et n'ayant aucune propriété hydraulique ; elle est désignée sous le nom de « chaux grasse ».
- Si le mélange contient un tiers de silicate, d'aluminate et/ou de ferrite, l'indice d'hydraulicité vaut $i = 0,5$ et correspond à un mélange sans chaux résiduelle : la proportion est, en effet, celle d'un mélange de bélite $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ et de gehlénite $2\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$. La chaux « éminemment hydraulique » est encore désignée sous le nom de « chaux maigre ».

III.3 Normalisation des chaux



Tableaux de la norme NF EN 459 "Chaux de construction"

Les chaux aériennes

Tableau des chaux calciques

	Type de chaux		Valeurs données en pourcentage en masse				
	Désignation	Notation	CaO +MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Chaux libre
Chaux calcique (CL)	Chaux calcique 90	CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	≥ 80
	Chaux calcique 80	CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	≥ 65
	Chaux calcique 70	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	≥ 55
Remarque :	Additifs possibles en faible quantité pour améliorer la fabrication ou les propriétés de la chaux. Si la teneur > 0,1%, la teneur réelle et le type doivent être déclarés.						

Tableau des chaux dolomitiques

	Type de chaux		Valeurs données en pourcentage en masse			
	Désignation	Notation	CaO +MgO	MgO	CO ₂	SO ₃
Chaux dolomitique (DL)	Chaux dolomitique 90-30	DL 90-30	≥ 90	≥ 30	≤ 6	≤ 2
	Chaux dolomitique 90-5	DL 90-5	≥ 90	> 5	≤ 6	≤ 2
	Chaux dolomitique 85-30	DL 85-30	≥ 85	≥ 30	≤ 9	≤ 2
	Chaux dolomitique 80-5	DL 80-5	≥ 80	> 5	≤ 9	≤ 2

Les chaux à caractéristiques hydrauliques

Tableau des chaux hydrauliques naturelles

	Type de chaux		Valeurs données en pourcentage en masse		Résistance à la compression (MPa)	
	Désignation	Notation	SO ₃	Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂	7 jours	28 jours
Chaux hydraulique naturelle (NHL)	Chaux hydraulique naturelle 2	NHL 2	≤ 2	≥ 35	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux hydraulique naturelle 3,5	NHL 3,5	≤ 2	≥ 25	/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux hydraulique naturelle 5	NHL 5	≤ 2	≥ 15	≥ 2	≥ 5 à ≤ 15
Remarque :	Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée.					

Tableau des chaux hydrauliques

	Type de chaux	Valeurs données en pourcentage en masse	Résistance à la compression (MPa)
--	---------------	---	-----------------------------------

	Désignation	Notation	SO ₃	Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂	7 jours	28 jours
Chaux hydraulique (HL)	Chaux hydraulique 2	HL 2	≤ 3	≥ 10	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux hydraulique 3,5	HL 3,5	≤ 3	≥ 4	/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux hydraulique 5	HL 5	≤ 3	≥ 4	≥ 2	≥ 5 à ≤ 15
Remarques :	Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée. Additifs possibles en faible quantité pour améliorer la fabrication ou les propriétés de la chaux. Si teneur > 0,1 %, la teneur réelle et le type doivent être déclarés.					

Tableau des chaux hydrauliques formulées

	Type de chaux		Valeurs données en pourcentage en masse		Résistance à la compression (MPa)	
	Désignation	Notation	SO ₃	Chaux libre sous forme Ca (OH) ₂	7 jours	28 jours
Chaux formulée (FL)	Chaux formulée A 2	FL A 2	≤ 2	≥ 40 à < 80	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux formulée A 3,5	FL A 3,5			/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux formulée A 5	FL A 5			≥ 2	≥ 5 à ≤ 15
	Chaux formulée B 2	FL B 2	≤ 2	≥ 25 à < 50	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux formulée B 3,5	FL B 3,5			/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux formulée B 5	FL B 5			≥ 2	≥ 5 à ≤ 15
	Chaux formulée C 2	FL C 2	≤ 2	≥ 15 à < 40	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux formulée C 3,5	FL C 3,5			/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux formulée C 5	FL C 5			≥ 2	≥ 5 à ≤ 15
Remarque :	Les valeurs de SO ₃ sont fondées sur un produit exempt d'eau libre et d'eau liée.					

III.4 Classification de la chaux

Le principe général de classification selon la norme NF EN 459 "Chaux de construction" est donné par l'organigramme suivant :

III.4.1 Exemples de spécification des chaux

NF EN 459 CL 80-Q (R3, P2)

- NF EN 459 : référence normative ; chaux
- CL : chaux calcique ; niveau 1 et 2 chaux aérienne calcique

- 80 : teneur en % garantie en CaO + MgO ; niveau 3 : exigences chimiques
- Q : chaux vive ; niveau 4 : état de la chaux
- R3 : Classe de réactivité en temps ; P2 : Classe de répartition granulométrique ; niveau 5 : exigences physiques

NF EN 459 FL B 3,5 na 455

- NF EN 459 : référence normative ; chaux
- FL : chaux hydraulique formulée ; niveau 1 et 2
- B : teneur en chaux libre de classe B (de 25 à 50 %) ; niveau 3 : exigences chimiques
- 3,5 : Classe de résistance à la compression (de 3,5 à 10 MPa à 28 jours) ; niveau 5 : exigences physiques.

III.5 Diversité des applications de la chaux aérienne

III.5.1 Différentes formes de chaux

Les chaux aériennes sont sans addition de composants dotés de propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques et elles peuvent se présenter sous deux formes :

- ✓ **Chaux vive** (notation Q) qui existe sous forme d'oxyde et réagit de façon exothermique avec l'eau ;
- ✓ **Chaux Hydratée** – également qualifiée d'éteinte – (notation S) essentiellement sous forme d'hydroxyde obtenu par hydratation – ou extinction – contrôlée de l'oxyde.

La chaux hydratée est disponible à l'état de **poudre** d'une part, et en suspension dans l'eau, d'autre part. Dans ce dernier cas, on obtient, du plus **concentré au plus dilué**, une **pâte**, un **coulis** ou un **lait de chaux**.

III.5.2 Fonctionnalités de la chaux:

- ✓ Source de calcium et de magnésium ;
- ✓ Pouvoir neutralisant ;
- ✓ Déshydratant ;
- ✓ Agent purifiant ;
- ✓ Agent floculant et précipitant ;
- ✓ Fondant ;
- ✓ Caustifiant ;
- ✓ Filler ;
- ✓ Pouvoir réfractaire ;
- ✓ Agent de blanchiment.

III.5.3 Diverses applications

La chaux est, à la fois, le liant minéral majeur de l'histoire de la construction et un des produits minéraux les plus utilisés depuis le début de l'ère industrielle.

L'ensemble des utilisations actuelles dans un contexte industriel, économique et réglementaire en constante évolution, auquel la chaux s'adapte en permanence pour apporter ses

solutions. Ces propriétés fonctionnelles sont mises à profit dans de nombreuses applications : industrielles, agricoles, environnementales et autres.

- Environnement: Traitement des eaux
- Agriculture : Amélioration de la qualité des sols.
- Sidérurgie et industrie des métaux non-ferreux: (pour l'extraction de certaines impuretés)
- Industrie chimique: Fabrication divers agents chimiques tels que la soude caustique.
- Industries alimentaire et sucrière
- Industrie verrière: Amélioration de la Résistance du verre aux agressions chimiques.
- Industrie papetière: Régénérer la soude caustique lors de la confection de la pâte à papier.
- Activités du génie civil: Traitement des sols humides pour la construction de routes.

Application dans le bâtiment

Avec la maîtrise de la technique et l'amélioration des connaissances relatives à la chaux et à ses propriétés, les applications se sont largement diversifiées, tant et si bien que le caractère multifonctionnel de la chaux, qui se décline par le biais de ses nombreuses applications, s'affirme également dans les applications en bâtiments.

La chaux est utilisée dans la restauration des constructions anciennes et monuments historiques (mosquées, palais, remparts); ces ouvrages ont souvent été faits en utilisant de la chaux, et ce liant convient bien puisqu'il redonne à ces constructions leur aspect d'origine.

La Chaux aérienne est ainsi largement utilisée pour l'amélioration des qualités d'isolation, de captation du CO₂ et pour son aspect toujours d'actualité.

Mortiers de pose et de jointement :

Les mortiers de chaux constituent de très bons mortiers de jointement de maçonneries en pierres tendres, en béton cellulaire ou en briques. Ils sont également très utilisés dans les travaux de bâtiments. Ils sont peu perméables à l'eau et peu fissurables. Ils ne provoquent pas d'efflorescences.

Enduits intérieurs et extérieurs :

Les nombreuses qualités de la chaux, notamment plasticité et adhérence, rendent son emploi très intéressant et très efficace dans la réalisation des enduits extérieurs et intérieurs. La chaux a deux fonctions principales : Protection et Esthétique.

Les enduits bâtards (chaux +ciment), tout en étant imperméables à l'eau sont perméables à l'air afin d'assurer la respiration du mur, ce qui évite les murs humides.

peintures et badigeons:

Les chaux aérienne conviennent bien pour la confection de badigeons qui peuvent être colorés dans la masse. Les badigeons traditionnels sont réalisés à partir d'un lait de chaux produit avec de la chaux vive, de la chaux éteinte ou de la chaux en pâte.

Bétons isolants :

Béton cellulaire, silico calcaire et le béton de chanvre.

III.6 Normes et réglementation

En tant que produit multifonctionnel à usages multiples, il va de soi que la chaux doit satisfaire un grand nombre d'exigences exprimées dans de nombreuses normes, normes de produits comme normes d'application :

- **EN 12878 : 2014** , Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux - Spécifications et méthodes d'essai
- **NF EN 459 : 2015**, Chaux de construction - Partie 1: Définitions, spécifications et critères de conformité.

Ces normes contiennent toutes les spécifications relatives aux produits pour l'usage considéré.

III.7 Référence Bibliographiques

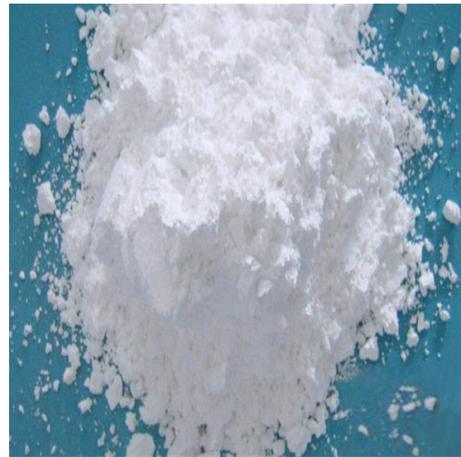
IV. Le Plâtre, plaster, الجبس

IV.1 Définition :

Le plâtre est un produit liant obtenu par déshydratation et pulvérisation de gypse (sulfate de chaux hydraté : $(SO_4 Ca_2 H_2O)$) après échauffement dans le four. D'après la température de l'échauffement de gypse on obtient des plâtres semi-hydratés et les plâtres anhydratés.



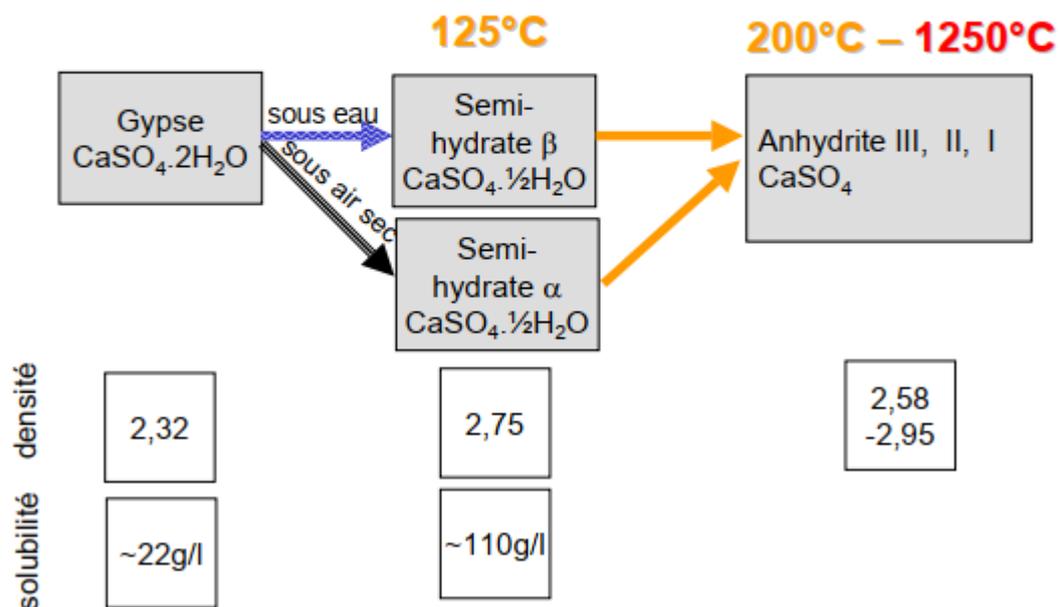
Une Carrière de gypse



Plâtre en poudre

IV.2 Types de plâtres

Les sulfates de calcium



Propriétés

AVANTAGES

- Disponible, pas chère
- Surface sans fissures
- Léger
- Résistant au feu

DESADVANTAGES

- Soluble
- Fragile
- Résistance mécanique modeste

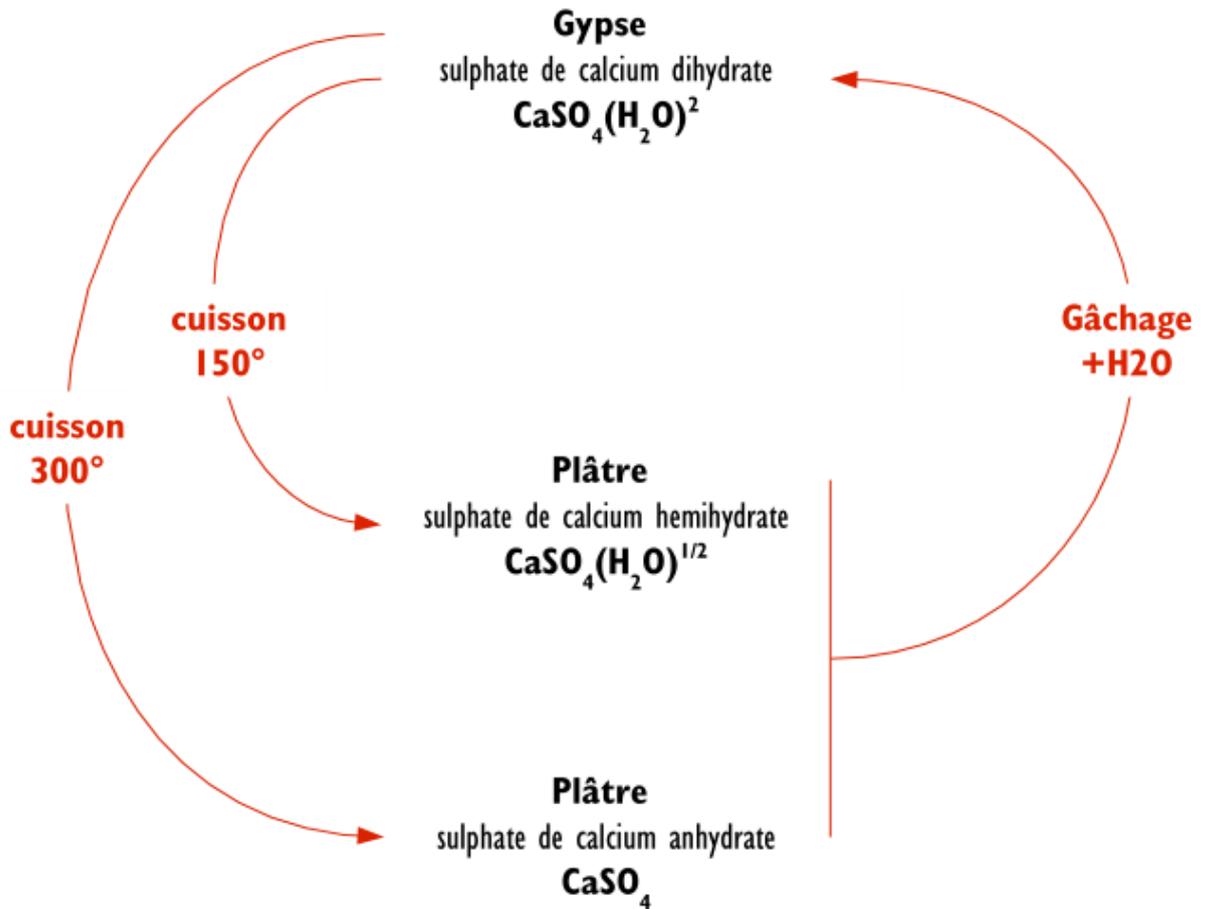
IV.2.1 Plâtres semi-hydratés

Ils s'obtiennent en échauffant du sulfate de calcium à une température de 125 jusqu'à 180° et en le broyant ensuite finement.

La poudre blanche ainsi obtenue est grasse au toucher et colle aux doigts c'est un liant qui durcit très vite lorsqu'il est additionné d'eau.

IV.2.2 Les plâtres anhydratés (ou anhydrites) :

Ils s'obtiennent par la cuisson de gypse à des températures atteignant 1000 à 1100°C, ces plâtres additionnés d'eau deviennent durs et résistent aux intempéries leur durcissement est légèrement plus lent que celui du plâtre semi-hydraté, il est donc plus facile à travailler.

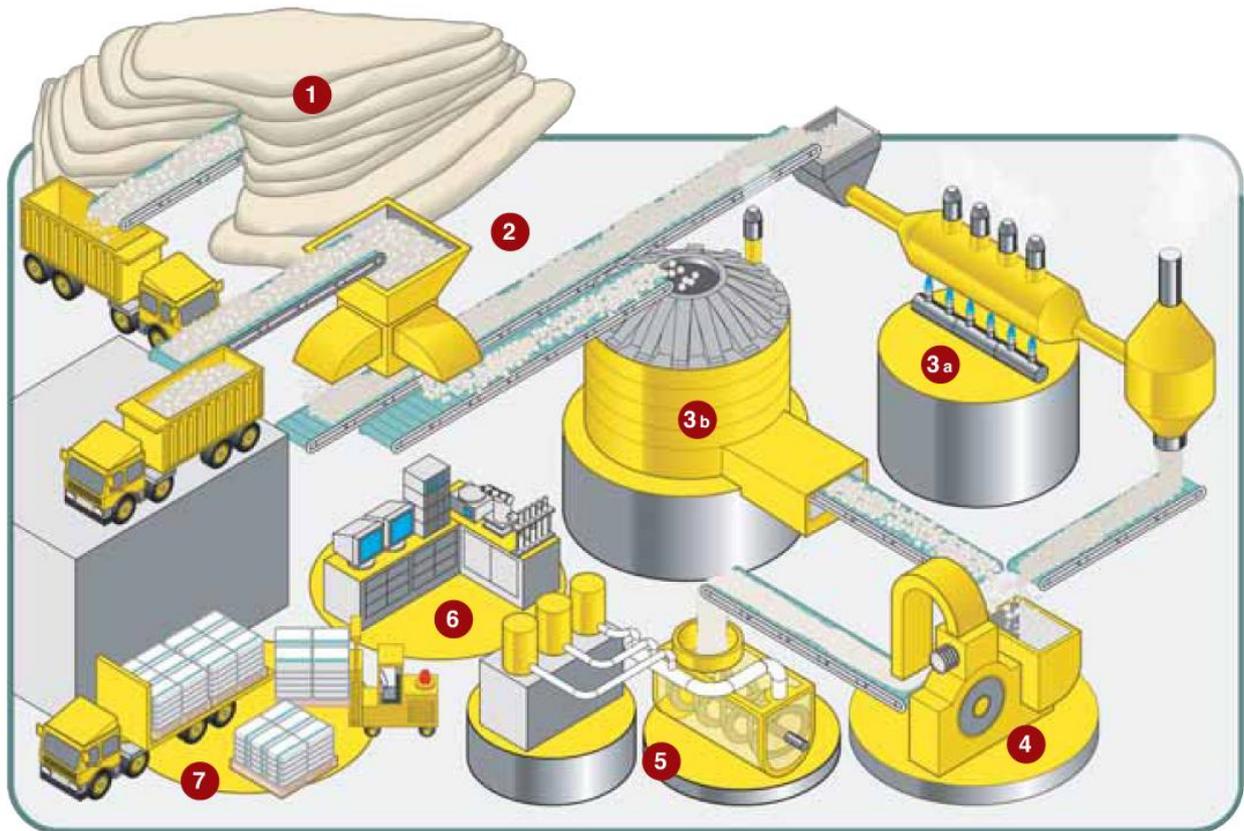


IV.3 Fabrication du plâtre

La pierre du gypse est généralement extraite de mines ou de carrières souterraines puis cuite et ensuite cassée, broyée et moulue pour donner la poudre blanche du plâtre.

La fabrication du plâtre à partir du gypse naturel comporte trois étapes :

- ✓ l'extraction et la préparation du gypse (**concassage** et un **criblage**);
- ✓ la cuisson : nombreux appareillages de cuisson qui dépend du mode de cuisson (atmosphère sèche ou humide) et type de four : fixe, rotatif ou autre.
- ✓ la réduction en poudres fines par broyage et l'obtention des produits finis (plâtre).



Legende :

1/ L'extraction ; 2/ La réception du gypse et le calibrage

3/ La cuisson ; 4/ Le Broyage ; 5/ le mélange et l'adjuvantation

6/ Le contrôle et validation des produits ; 7/ le conditionnement et la livraison.

IV.4 Types de plâtre

Divers produits sont ainsi obtenus lors de la cuisson (hémihydrate et surcuit) sont broyés et dosés pour produire différents types de plâtre.

- le « plâtre gros de construction », utilisé pour les couches de fond.
- le « plâtre fin de construction », mis en œuvre pour la finition.
- le « plâtre de moulage » est un plâtre pur qui ne se distingue que par la finesse de sa mouture. Il contient parfois des adjuvants destinés à faciliter leur pose ou à améliorer leur adhérence (plâtre-colle).
- le « plâtre de plancher », déjà cité, n'est plus produit aujourd'hui, mais peut serencontretr dans des bâtiments anciens, au cours de restaurations.
- le « plâtre boraté » est un plâtre utilisé pour la confection de stucs (enduit imitant le marbre). Il est obtenu par l'addition d'une petite quantité de boratede soude naturel : $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (borax).
- le « plâtre de staff », est utilisé pour réaliser des plaques de plâtre armées de fibre végétales ou synthétiques qui sont posées à sec sur le chantier. Cette technique permet

de fabriquer des pièces de toutes formes, à la demande.

IV.5 Utilisation du plâtre

Il existe plusieurs qualités et plusieurs types de plâtre. Nous intéressons aux plâtres courants à usage fréquent dans le génie civil :

- **Plâtres gros de construction 1 (PGC1)**: il sert de liant (mortier de plâtre) pour la construction des cloisons, des gaines de fumées, pour hourder les planchers, dégrossir les enduits, comme forme pour les coffrages courbes, béton de plâtre sans sable etc.
- **Plâtre gros de construction 2 (PGC2)** : il est utilisé pour la fabrication de carreaux de plâtres, pour la pose des pierres taillées, du marbre. Il sert aussi pour la préfabrication d'éléments en plâtre (plaques pleines, perforées et panneaux) pour cloison, plafond etc.
- **Plâtre fin de construction (PFC)** : il est utilisé pour les enduits finaux, les scellements etc.
- **Plâtre à mouler** : Il sert à de multiples usages, moulures, jointoiements (remplissage des interstices de la surface d'un ouvrage en maçonnerie), les travaux de restauration, certains rebouchages en peintures. Il forme les moules pour la porcelaine, la faïence, les tuiles mécaniques et les fontes, etc.

IV.6 Propriétés du plâtre

- ✓ Blancheur
- ✓ Séchage rapide
- ✓ Bonne dureté (forte cristallisation)
- ✓ Temps de prise court
- ✓ Belle blancheur

IV.6.1 Résistance au feu

Le plâtre est un matériau incombustible. Il a un **Effet bénéfique au cours des incendies**. Au cours d'un incendie, le plâtre ne libère pas de produit toxique, mais seulement de la vapeur d'eau. L'eau contenue dans le plâtre en se vaporisant au cours d'un incendie, absorbe ainsi la chaleur et retarde la montée en température. Il forme un réel coupe-feu. Il explose au delà de 300°C.

IV.6.2 Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie

Du fait de sa faible conductivité thermique λ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique des parois. Le plâtre permet de plus :

- en association avec des matériaux isolants minéraux ou de synthèse ayant des conductivités thermiques très faibles
- de réaliser des systèmes d'isolation efficaces.

Les éléments préfabriqués en plâtre sont couramment employés pour améliorer l'isolation thermique d'une paroi, seuls (par exemple contre-cloison en carreaux de plâtre) ou sous forme de complexes de doublage plâtre-isolant.

IV.7 Applications du plâtre

Le plâtre est utilisé dans la construction et aussi comme usages médicaux spécifiques : Applications en bâtiment

Les applications sont très variées : enduits, scellement ou chape, mortiers, moules et matière de moulages, éléments de construction, comme des plaques ou des structures isolantes à parois plâtre, carreaux, carreaux de cloisons, cloisons, revêtement de maçonnerie intérieure, murs, etc. mais aussi usages médicaux spécifiques : moulage de maintien des os fracturés, plâtre chirurgical, consolidation de bandage, etc.

Le plâtre semi-hydraté s'ajoute au mortier à chaux afin d'accélérer le durcissement, d'avoir un aspect blanc et de réduire le retrait.

L'anhydrite est une excellente matière pour les plâtrages intérieurs vu qu'elle devient beaucoup plus dure que le mortier à chaux et qu'elle ne présente pas de fissures.

IV.7.1 Enduits intérieurs

On distingue trois familles de plâtres pour enduits intérieurs qui peuvent s'appliquer en une ou plusieurs couches.

- ✓ Pour enduits manuels; Ils sont destinés aux enduits intérieurs de murs et plafonds sans addition d'un autre liant ou d'un granulat.
- ✓ Pour projection mécanique;
- ✓ Pour enduits spéciaux appliqués soit manuellement, soit par projection mécanique.



Enduire d'un mur au plâtre



Enduit de plâtre coupe-feu à projeter

IV.7.2 Produits préfabriqués

1.1. Moulures décoratives

Les moulures sont un élément de décoration architecturale traditionnel et incontournable, moulées dans du plâtre de staff, elles viennent souligner les volumes des espaces, encadrer les portes et les fenêtres ou encore longer les angles des pièces. Les moulures décoratives existent en différentes formes adaptées à l'endroit où on veut les poser :

- les moulures linéaires ornementales (à dessins), en creux ou en reliefs (figure 5.5), et les moulures linéaires lisses (figure 5.6) se posent sur les plafonds, les portes ou à la place des plinthes en bas des murs.



Figure 5.5. Moulures linéaires à dessins creux ou en reliefs

Figure 5.6. moulures linéaires lisses

⁶ La réverbération est la persistance du son dans un lieu après l'interruption de la source sonore.

- les moulures sur le tiers inférieur des murs, les moulures reproduisant des panneaux se posent côte à côte (figure 5.7).



Figure 5.7. Moulures en panneaux sur le tiers inférieur des murs

- Les moulures sur les plafonds (figure 5.8), on posera au centre des pièces des rosaces à l'ancienne ou des modèles plus design, et on pourra prévoir dans leur centre une sortie électrique pour installer un luminaire, lustre ou suspension.



Figure 5.8. Moulures aux plafonds

Carreaux de plâtre

Les carreaux de plâtre, éléments de petites dimensions, ont un module de trois ou quatre éléments par mètre carré. Ils sont pleins ou évidés (alvéoles verticales ou horizontales) ; leur épaisseur varie de 4 à 10 cm selon la fabrication, les épaisseurs les plus courantes étant 5, 6 et 7 cm. Ils comportent des joints à emboîtement qui assurent la bonne mise en position des éléments.

Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des carreaux d'épaisseur supérieure ou égale à 5 cm sont précisées dans la norme EN 12859. Les carreaux sont liés entre

eux par une colle spéciale formulée à base de plâtre ainsi on obtient des joints qui peuvent être poncés pour les rendre invisible.



Carreau de plâtre plein et alvéolaire

d'assemblage des carreaux de plâtre

Plaque de plâtre

Une plaque de plâtre est du plâtre moulé pour obtenir une forme prête à être installée. Elle se prépare en 10 minutes. Une fois fabriquée, la plaque peut être transportée pour être posée.



Plaque de plâtre

Placoplatre

Le Placoplâtre est, quant à lui, du plâtre amélioré, généralement associé à d'autres matériaux tels que la chaux ou toute autre matière qui améliore sa solidité et sa résistance à l'humidité. Le Placoplâtre a une densité supérieure à la plaque de plâtre ordinaire. Il est conçu pour être utilisé en revêtement de plafond ou en mur.

Un matériaux composite



Les plaques de plâtre sont des matériaux de construction industrialisés couramment utilisés pour la finition des murs et des plafonds intérieurs. Elles sont constituées de plâtre moulé entre deux couches de carton. En usine, le plâtre gâché avec des adjuvants est enfermé dans des feuilles de carton, composant ainsi des éléments de faible épaisseur,

qui conservent malgré tout des propriétés mécaniques intéressantes. Certaines plaques sont traitées avec des adjuvants hydrophobes pour les rendre plus étanches à l'eau.



Défilement de la bande de carton sur laquelle va se poser la gâchée. La chaîne de fabrication des plaques de plâtre s'étale sur 450 m



Injection du mélange plâtre, eau et ajouts spécifiques entre deux plaques de carton. La gâchée est ensuite vibrée et sa hauteur réglée suivant l'épaisseur finie de la plaque

Elles se posent par vissage sur des rails ou des montants en bois, des montants métalliques spécifiques ou par collage direct sur les supports maçonnés au moyen d'un mortier adhésif.

Figure salon

Les bords longs des plaques de plâtre sont :

- soit amincis BA (bords longitudinaux amincis) (figure 5.13-a), afin de permettre la dissimulation des joints, au moyen d'une bande noyée dans un enduit,
- soit arrondis SB (sans bande) (figure 5.13-b), le joint étant bourré, en général en deux passes, au moyen d'un enduit spécifique, ou au contraire laissé tel quel, sans aucun traitement, l'arrondi affirmant le joint est un motif de décoration,
- soit coupés BC (figure 5.13-c), emploi et mise en œuvre identiques aux bords arrondis.



Figure 5.13. Différents bords : a- aminci, b- arrondi, c- coupé

Les dimensions commerciales sont :

- épaisseurs en mm : 6 ; **9,5** ; **12,5** ; 15 ; 18 ; 20 ; 23 et 25.
- largeurs en cm : 40 ; 60 ; 90 ; **120** et 125.
- longueurs en cm : 200 ; 240 ; 250 ; 260 ; 280 ; **300** ; 320 ; 360 et 421.

NB : En gras les dimensions commercialisées en Algérie.

IV.8 Remarques :

- ☛ Il faut toujours ajouter du plâtre à l'eau et non le contraire afin d'éviter la formation de grumeaux.
- ☛ Eviter l'utilisation du plâtre à l'extérieur et dans des endroits humides, car il se dissout avec l'eau.
- ☛ Interdire le mélange du plâtre avec du ciment, car il se forme des cristaux nuisibles au mortier, qui se décompose à cause de l'augmentation du volume.
- ☛ Empêcher le contact direct du plâtre avec les métaux (corrosion).
- ☛ Le plâtre n'est pas si respectueux de l'environnement. Les déchets du plâtre ne sont pas recyclables, En outre, il dégage de (HS2) l'hydrogène sulfuré, un gaz toxique, lors de sa dégradation, d'une part, il rejette des sulfates solubles d'autre part.

Fabrication placoplâtre

IV.9 Normes

Norme **NF EN 13279-1** : 2009, Liants-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment - Partie 1 Définitions et exigences.

Norme **NF EN 12859** : 2011, Carreaux de plâtre - Définitions, spécifications et méthodes d'essai

Norme **NF EN 14209 : 2017** ; Corniches préformées en plâtre revêtues de carton - Définitions, exigences et méthodes d'essai.

IV.10 Référence Bibliographiques

Le plâtre

La provenance du plâtre

Le gypse,

L'anhydrite naturelle (roche de sédimentation) pierre de plâtre CaSO_4

Dans la production de l'acide phosphorique H_3PO_4 (Engrais). Le déchet de l'industrie chimique contenant

du sulfate de calcium (le phosphogypse). L'industrie des engrais phosphatés produit du gypse (1,7 t/t de

phosphate) lors de la fabrication de l'acide phosphorique à partir de phosphate naturel. C

État naturel du gypse

Le sulfate de calcium se présente sous forme de gypse: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou d'anhydrite: CaSO_4 . Ce sont

les gisements de gypse qui sont principalement exploités. Ils sont nombreux dans le monde, particulièrement en France et aux Etats-Unis, mais absents des régions volcaniques comme le Japon.

Quelques gypses naturels particuliers

Le gypse qui se présente généralement sous forme de roches, peut aussi se rencontrer dans la nature sous

forme de roses des sables. Il forme également l'albâtre (variété naturelle du gypse blanc à grains fins

et peu coloré composé de sulfate de calcium hydraté) qui lorsqu'il est pur est translucide et utilisé

traditionnellement comme vitrage au Yémen. Impur, l'albâtre est veiné. Le Sphinx de Memphis, en

Égypte, datant de 1 500 avant J.C. est en albâtre.

Exploitation industrielle

Les exploitations, quelles soient souterraines ou à ciel ouvert, sont pour des raisons juridiques, liées à la

propriété du sous-sol, dénommées carrières. Le gypse exploité en France qui a une pureté supérieure à 90

% (souvent 98 %) ne nécessite pas de traitement de purification. Exemple de composition de gypse :

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 91,5 % CaCO_3 1 %

CaCO_3 7 % Argile et silice 2 %

Les plâtres se subdivisent en deux groupes :

Plâtres cuits à basse température et plâtres cuits à hautes température.

Les premiers sont obtenus en chauffant du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) jusqu'à la température de 150°C à

160°C ; ceci entraîne la déshydratation partielle du gypse et sa transformation en gypse semi-hydraté

($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$). C'est le plâtre de construction.

Les plâtres cuits à haute température sont obtenus à partir du gypse porté à 400 à 600°C . Il s'ensuit une

déshydratation totale et formation de sulfate de calcium anhydre, (anhydrite, CaSO_4). C'est le plâtre de

haute cuisson.

Etapes de fabrication du plâtre (à partir du gypse)

- Extraction du gypse
- Concassage (diamètre 8 à 10 cm)
- Cuisson selon le produit désiré
- Broyage

Etapes de fabrication du plâtre (à partir de l'anhydrite naturelle)

- Extraction

5

- Concassage (diamètre 8 à 10 cm)
- ajouter des réactifs ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) pour accélérer la prise
- Broyage

Fabrication industrielle: une déshydratation partielle du gypse par chauffage, donne de l'hémihydrate

de calcium selon la réaction, de 150 à 160°C :



Un chauffage à plus haute température, 290°C , donne de l'anhydrite CaSO_4 , sulfate complètement

déshydraté, appelé "surcuit".

Un chauffage à plus de 700°C , donne une anhydrite très peu réactive à l'eau, appelée "plâtre cuit à mort".

Procédés utilisées : 2 types pour fabriquer l'hémihydrate α (plâtre de haute résistance) et l'hémihydrate β

(plâtre de construction)

- Le procédé par voie sèche, qui est le plus utilisé, est réalisé à la pression atmosphérique. Il donne, vers

150-160°C, de l'hémihydrate β (petit cristaux de sulfate de calcium semi hydraté). Un tel plâtre nécessite

une grande quantité d'eau de 60 à 65 %. Le surplus d'eau cad celle qui dépasse la quantité nécessaire à

l'hydratation (15%), s'évapore en formant des pores ; Le plâtre formé a donc une porosité allant jusqu' a

40% et par suite, une faible résistance.

- Le procédé par voie humide s'effectue sous pression saturante de vapeur d'eau, dans des autoclaves,

sous 2 à 7 bar, pendant quelques heures. Il donne de l'hémihydrate α (les cristaux sont plus gros, ce qui

nécessite moins d'eau (40 à 45 %) et permet d'obtenir un plâtre durci dont la résistance et la densité sont

élevés. C'est le plâtre de haute résistance qui atteint en 7 jours 15 à 40 MPa. L'hémihydrate α est utilisé

pour des plâtres spéciaux et pour les moulages dentaires. La résistance mécanique de l'hémihydrate α

est nettement plus importante que celle de l'hémihydrate β . Les coûts de production par voie humide sont

beaucoup plus élevés.

Produits fabriqués :

Le plâtre utilisé en construction est principalement constitué d'hémihydrate β ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, de 60 à 80

%) et d'anhydrite (CaSO_4). Il est obtenu par le procédé par voie sèche. Les propriétés du plâtre (donc ses

utilisations) dépendent, en grande partie, de sa composition en hémihydrate et en anhydrite. Exemple de

composition de plâtre destiné à la réalisation d'enduits :

$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (plâtre) : 72 % CaCO_3 (calcaire) : 7 % Argile et silice : 2 %

CaSO_4 (anhydrite) : 18 % MgCO_3 (dolomite) : 1 %

Le plâtre utilisé pour élaborer des produits préfabriqués (carreaux, plaques...) est généralement de

hémihydrate β pur.

La prise du plâtre

Lors d'un ajout d'eau, l'hémihydrate et l'anhydrite se dissolvent, puis $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ précipite : c'est la prise

du plâtre.



La prise du plâtre de construction doit commencer avant 4 mn et se terminer au plus tard que 30 mn après

le gâchage à l'eau.

6

Liants Hydrauliques

Les chaux hydrauliques

Elles sont ainsi nommées parce qu'elles possèdent la propriété, très importante, de durcir non seulement à

l'air et dans les lieux humides mais encore sous l'eau.

Les chaux hydrauliques s'obtiennent par cuisson entre 850 et 1000

°C de calcaire avec impureté

argileuse inférieure ou égale à 22 %.

Les chaux obtenues sont d'autant plus hydraulique que la proportion d'argile est plus élevée.

L'argile étant un mélange des corps suivants:

- Silicate d'alumine hydraté

- Silice

- Oxyde ferrique

Chaux Argile

Faiblement hydraulique 5 à 8 %

Moyennement hydraulique 8 à 14 %

Hydraulique 14 à 19 %

Eminemment très hydraulique 19 à 22 %

Les chaux obtenues sont d'autant plus hydraulique que la proportion d'argile est plus élevée.

L'indice d'hydraulicité

La proportion d'argile dans la pierre avant calcination conditionne les caractéristiques de la chaux

hydraulique. Plus d'argile = plus d'hydraulicité = plus de résistance. Cette règle exprimée par Vicat fut la

première façon de prévoir l'hydraulicité de la chaux à partir des caractéristiques de la pierre.

On évalue aujourd'hui le % de silice combinable, mesure plus précise que le taux de silice totale de Vicat.

Calcul de l'indice d'hydraulicité " i " de Vicat :

$i = \text{Poids d'argile} / \text{Poids de calcaire.}$

$i = (\text{silicium } \text{SiO}_2 + \text{Aluminium } \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{CaO} + \text{MgO}$

$i = \text{Poids des constituants acides} / \text{constituants basiques.}$

Cet indice i permet de classer les chaux de la chaux aérienne (argile = 0 %) à la chaux la plus hydraulique

contenant 20% d'argile.

- Chaux grasse : argile = 0%
- Chaux maigre : argile < 3%
- Chaux faiblement hydraulique : 8% < argile < 15% (prise en 2 à 4 semaines)
- Chaux moyennement hydraulique : 15% < argile < 19% (prise en 2 à 15 jours)
- Chaux éminemment hydraulique : 19% < argile < 22 (prise en - de 2 jours)

Etape de fabrication

- Extraction
- Concassage
- Cuisson de CaCO_3

7

À 850

o C: CaCO_3

$\text{CaO} + \text{CO}_2$

850 □ □ T □ □ 1100

o C

Réactions entre CaO et les éléments d'argile SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

- Extinction (arrosage léger de manière que toute la masse soit humectée et on laisse ainsi la chaux

jusqu'à l'extinction totale)

- Broyage (transformation du produit en poudre)

La chaux hydraulique en poudre est jaune claire avec des nuances grisâtres. Elle est plus claire que les

ciments.

Emploie de la chaux hydraulique

Les chaux sont utilisées pour les carrelages, les enduits, les ouvrages peu délicats pour lesquels ne sont

pas recherchées de hautes résistances: murs de clôtures, habitations à un ou deux étages, etc...

Les chaux hydrauliques sont classées selon la masse volumique ou la densité.

On distingue :

1) Chaux légère

Densité apparente inférieure à 600 kg/m^3 ;

Indice d'hydraulicité inférieure à 0,3

La résistance à la compression après 28 jours inférieure à 3 MPa

2) Chaux lourde

Elle possède 3 classes suivant la résistance, la densité apparente.

Résistance à 28 jours Densité apparente

3 600 à 750

6 sup ou = 750

10 sup ou = 900

1.1.2 Mécanisme de durcissement :

La cohésion de l'argile sèche est due aux forces capillaires qui prennent naissance lorsqu'apparaissent des ménisques dans le matériau à structure capillaire.

1.2. LE PLÂTRE :

1.2.1 Définition : Il est dû à la cuisson du gypse à basse température, il a plusieurs des avantages et des inconvénients :

1.2.2 Les avantages :

- Le temps de prise est contrôlable.
- il faut une attente minimum entre les différentes couches successives.
- il y a la possibilité d'obtenir différent degré de dureté, de surface, et de texture.
- absence de retrait.
- isolation thermique et phonique.
- bonne résistance au feu.

1.2.3 Les inconvénients :

- le plâtre ne peut pas être utilisé à l'extérieur.
- il est de nature acide, et peut favoriser la corrosion de l'acier.
- le temps de séchage est remarquablement long surtout pour les produits préfabriqués.
- sa mise en œuvre est généralement salissante surtout pour les éléments préfabriqués.

1.2.4 Fabrication du plâtre :

Sa fabrication passe par les étapes suivantes :

- Extraction : du gypse à l'aide d'explosifs, quand il s'agit de gisement à ciel ouvert : " des carrières ".
- Concassage : afin de réduire la dimension de ses grains.
- Le criblage : qui ne sélectionne que les grains de diamètre inférieur à 40 mm.
- Stockage et homogénéisation
- Cuisson : il sera par la suite cuit à 150°C.
- Stockage dans deux silos qui représente deux à trois jours de production.
- Mélange :

(exemple : 100 kg semi-hydrate + 70 kg ajouts tels :

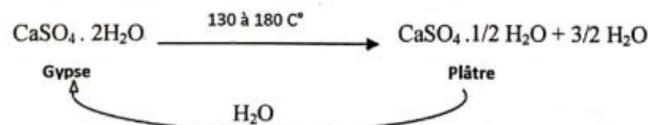
1 / L'amidon, pour améliorer l'adhésion entre le plâtre et le carton.

2/ Des adjuvants.

3/ Des retardateurs pour modifier les temps de prise du plâtre...

1.2.5 Préparation :

Cuisson de gypse et transformation en semi-hydrate :

**1.2.6 Caractéristiques du plâtre :***** Durcissement et prise**

C'est la transformation de $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ (très soluble) en $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (qui est cinq fois moins soluble) et la dissolution et recristallisation

Délai de coulage : 8 minutes, quand on plante un clou, le trou reste.

Délai de lissage : 15 minutes, on ne peut pas planter un clou de plus de 1 cm.

*** Résistance**

La résistance du plâtre dépend du rapport : $E/P = \text{Eau} / \text{Plâtre}$, car le plâtre est sensible à l'eau.

Gâché correctement et conservé à 28 jours, une résistance maximale à la compression de 10MPa et à la traction de 2 MPa peuvent être atteinte.

*** Propriété physiques**

Densité : 600 à 3000 kg/m³