**Chapitre 01**

**Les liants**

**1.1. Définition**

Les liants sont des produits généralement employés sous forme de poudres fines et qui, gâchés avecl’eau en pâte plus au moins épaisse, durcissent et forment une masse dure et compacte analogue à laroche naturelle.

**1.2. Classification**

D’après la pétrification on classe les liants en deux sortes :

a- les liants hydrauliques :Ce sont les matières qui peuvent durcir et se conserver pendant une longue durée résistant nonseulement à l'air mais aussi à l'eau. Citons parmi ceux-ci : le ciment portland, la chaux hydraulique.

b- les liants aériens : On appelle liants aériens les matières qui peuvent passer à l'état solide, se conserver pendant unelongue durée et augmenter la résistance à l'air libre. Nommons ici: le plâtre, la chaux aérienne.

**1.3. Les liants hydrauliques**

**1.3.1. Le ciment**

**1.3.1.1. Définitions**

Le ciment est une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l’eau, forme une pâte quifait prise et durcit. La réaction chimique (hydratation) entre la poudre de ciment et l’eau produit unminéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction s’opère rapidement.Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l’eau. Le ciment estun constituant de base du béton.

* Il ne faut pas confondre:
* le ciment, poudre commercialisée en sac ou en vrac, avantson gâchage avec l'eau
* la pâte de ciment, au moment du gâchage du ciment avecl'eau;

1.3.1.2 Les constituants des ciments

Matières premières

* **Roches naturelles**



* **Sous –produits:**

-déchets de fabrication de la fonte: laitier de hauts-fourneaux

- résidus des centrales thermiques : cendres volantes

- pouzzolanes obtenues artificiellement.

* **Fillers :**

Généralement inertes, obtenus par broyage fin de calcaire, basalte, laitier, cendres volantes.

Nota : on ajoute également 2 à 3 % de gypse en fin de fabrication

**1.3.1.3 La fabrication du ciment**

Les différentes étapes de la fabrication du ciment sont les suivantes (figure 1.1 et figure 1.2):

**a. Extraction et concassage :**

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont réduits, dans des concasseurs situés généralement sur les lieux mêmes de l’extraction, en éléments d’une dimension maximale de 50 mm

**b. Préparation de la matière première:**

Les grains de calcaire et d’argile sont intimement mélangés par broyage ou délayage, dans des proportions définies, en un mélange très fin, le « cru ». A cette occasion, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant en faible proportion, bauxite, oxyde de fer.

Le mélange cru est préparé automatiquement sous forme de granules (voie sèche ou demi-sèches) ou de pâte (voie semi-humide ou humide), en fonction de la technique de fabrication utilisée.

* **La voie sèche**

C’est de très loin la plus employée aujourd’hui. La matière première est préparée sous forme de poudre. La préhomogénéisation permet d’atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment par superposition de multiples couches.

**c. Cuisson :**

Quelle que soit la technique de fabrication utilisée pour élaborer le cru, les installations de cuisson sontsimilaires et comportent deux parties.

* Un échangeur de chaleur comportant une série de quatre à cinq cyclones dans lesquels la poudredéversée à la partie supérieure progresse jusqu’à l’entrée du four. Elle se réchauffe au contact des gazchauds en sortant de ce four, et se décarbonate en partie.
* Une décarbonatation plus complète peut être obtenue par l’ajout d’un foyer complémentaire situé dansle cyclone inférieur (précalcination). La poudre est ainsi portée à une température d’environ 800 °C à1 000 °C.
* Un four horizontal rotatif cylindrique en tôle d’acier (avec revêtement réfractaire intérieur) de 60 à 200m de long, de 4 à 7 m de diamètre, légèrement incliné et tournant de 1 à 3 tours/minute. Lamatière pénètre à l’amont du four où s’achève la décarbonatation, et progresse jusqu’à la zone declinkerisation (environ 1450 °C). Le temps de parcours est de l’ordre de 1 heure.
* Sous l’effet de la chaleur, les constituants de l’argile, principalement composée de silicates d’alumineet d’oxydes de fer, se combinent à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et desaluminates de calcium (voir tableau 1.1).



**Tableau 1.1:** Les 4 phases cristallines principales du ciment



Figure 1.2: Organigramme de fabrication du ciment

**1.3.1.4 Hydratation**

Les réactions qui se passent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps sont extrêmement complexes.

* Le ciment Portland contient quatre constituants principaux:
* le silicate tricalcique 3 CaO, SiO2 ou, par abréviation, C3S ;

- le silicate bicalcique 2 CaO, SiO2 ou, par abréviation, C2S ;

- l’aluminate tricalcique 3CaO, Al2 O3 ou, par abréviation, C3A ;

- l’aluminoferrite tétracalcique 4CaO, Al2O3, Fe2O3 ou, parabréviation, C4AF.

* Ces constituants anhydres donnent en présence d’eau, naissance à des silicates, des aluminates de calcium hydratés et de la chaux hydratée dite Portlandite formant un gel micro-cristallin, à l’origine du phénomène dit de « prise ».
* C’est le développement et la multiplication de ces micro-cristaux dans le temps qui expliquent l’augmentation des résistances mécaniques.
* Le ciment durci est une véritable « roche artificielle » qui évolue dans le temps et en fonction des conditions extérieures.

**1.3.1.5 classification des ciments**

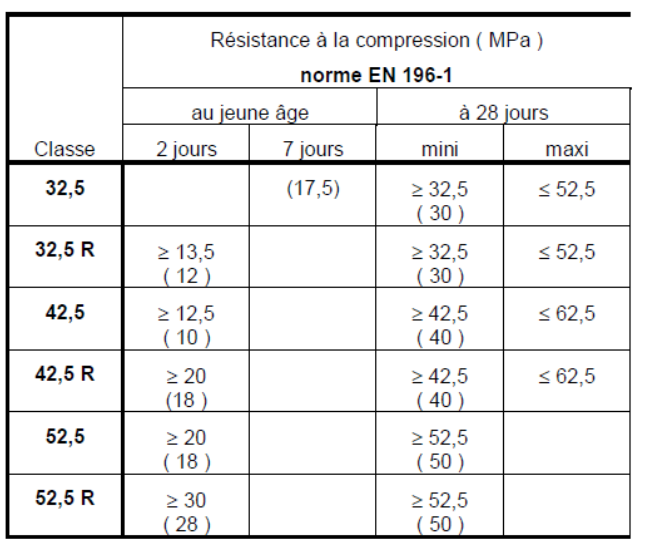
a. Classification en fonction de leur composition : norme NF P 15-301 (tableau 1.2)

Tableau 1.2 : Classification en fonction de leur composition : norme NF P 15-301

* Le tableau ci-dessus indique les différents ciments et les proportions en masse de leurs constituants. Les constituants marqués d'une étoile sont secondaires (moins de 5 %).

b. Classification en fonction de leur résistance (tableau 1.3):

* Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous-classes sont associées aux 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées.
* Les classes doivent respecter les spécifications indiquées dans le tableau ci-dessous. Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées.



1) Le retrait spécifié ne concerne que les CPA-CEM I et les CPJ-CEM II

1.3.1.6 Désignation normalisée des ciments :

 Les ciments sont désignés par leur type et par leur classe de résistance.

 exemple : CPJ-CEM II/A 32,5 R

C'est un ciment Portland composé, contenant de 80% à 94% de clinker et de 6% à 20% de fillers calcaires, de classe 32,5 ayant une résistance au jeune âge élevée.

**1.3.1.6 Les autre type de ciment :**

* **Ciment de laitier à la chaux : CLX (NF P 15-306)**

Ce ciment est un mélange de chaux hydrauliques et de laitier granulé de haut fourneau.

* **Ciment à maçonner : CM (NF P 15-307)**

Ce ciment contient les mêmes éléments actifs que le CPA mais ses résistances sont moins élevées.

* **Ciment naturel : CN (NF P 15-308)**

Ce ciment résulte de la mouture de roches clinkérisées, obtenues par la cuisson de calcaires marneux de composition très régulière et voisine de celle des mélanges d'argile et de calcaire servant à la fabrication du ciment Portland artificiel.

* **Ciment prompt naturel : CNP (NF P 15-314)**

Le ciment prompt naturel, à prise et durcissement rapides, résulte de la cuisson à température modéré d'un calcaire argileux de composition régulière, extrait de bancs homogènes, suivi d'un broyage fin.

* **Ciment alumineux fondu : CA (NF P 15-315)**

Le ciment alumineux fondu est un liant hydraulique qui résulte de la mouture, après cuisson jusqu'à fusion, d'un mélange composé principalement d'alumine, de chaux, d'oxydes de fer et de silice, dans des

**Tout en respectant les spécifications des normes qui fixent les conditions d'emplois d'emploi dechaque liant, il faut retenir que :**

* + Les CPJ-CEM II 32.5 conviennent bien pour les travaux de maçonnerie et les bétons peu sollicités.
  + En fondation, si le milieu est agressif il faudra utiliser des ciments à forte teneur en laitier (CHF, CLKet CLC). (les eaux agressives attaquent les ciments à base principale de clinker).
  + En élévation, il faut au contraire éviter l'emploi des ciments riches en laitier parce qu'ils sontsensibles à la dessiccation, qui durcissent moins vite que les portlands et qui peuvent provoquer desefflorescences.
  + Pour réaliser des bétons de masse il est préférable d'utiliser des ciments à faible chaleurd'hydratation (ex.: CPJ).
    - Pour les travaux de béton armé on peut utiliser tous les ciments portland (CPA et CPJ)
    - Pour les travaux de béton précontraint on utilise le ciment portland artificiel (CPA)
    - Les classes R seront préférés pour les travaux exigeant des hautes résistances initiales pourpermettre un décoffrage rapide par exemple.

**1.3.2. Les chaux hydrauliques**

**Propriétés des chaux hydrauliques :**

**Les chaux sont caractérisées par :**

* + - Leur teinte claire
* Leur prise lente
* Leur faible chaleur d'hydratation (peu de retrait)
* La masse volumique apparente est comprise entre 600 et 900 kg/m3,
* La masse volumique absolue est comprise entre 2600 et 2900 kg/m3
* Finesse globale est comprise entre 5000 et 8000 cm2/g
* Les résistances à la compression à 28 jours:
*  Chaux légère : 6 MPa
*  Chaux lourde : 10 MPa
*  Chaux hydraulique artificielle : 10 MPa
* Les qualités des mortiers obtenus:
*  Plasticité
*  Adhérence
*  Peu de fissures

**Utilisation dans le bâtiment :**

Les mortiers de chaux hydraulique trouvent leur application essentiellement dans le bâtiment où leursqualités sont appréciées pour les enduits, les menus ouvragesde maçonnerie (joints, pose de carrelage)ou les travaux de restauration tels que celles des mosquées.

**a.Enduits :**

* Les nombreuses qualités de la chaux, notamment plasticité et adhérence pour les XHN, rendent sonemploi très intéressant et très efficace dans la réalisation des enduits extérieurs et intérieurs.
* On l'utilise seule ou mélangée au ciment Portland -souvent blanc -, au ciment prompt. Les enduits bâtards(chaux + ciment), tout en étant imperméables à l'eau sontperméables à l'air, ce qui évite les murs humides.
* La XHN est utilisée dans la restauration desconstructions anciennes et monuments historiques(mosquées, palais); ces ouvrages ont souvent été faits enutilisant de la chaux, et ce liant convient bien puisqu'ilredonne à ces constructions leur aspect d'origine.

**b. Badigeons :**

XHN conviennent bien pour la confection de badigeons qui peuvent être colorés dans la masse. Leschaux sont suffisamment fines et riches en hydroxyde de calcium pour rester en suspension aqueuse etdonner un lait de chaux utilisable au moyen d'un pinceau ou d'un pulvérisateur. Leur blancheur est tout àfait satisfaisante pour cet usage.

**c. Mortiers de pose et de jointement :**

La chaux hydraulique constitue un matériau de choix pour la préparation des mortiers de pose et deliaison, principalement en élévation – mortiers de chaux pure et bâtard.

**d. Bétons de remplissage :**

Les chaux hydrauliques ne sont pas utilisables pour la réalisation de bétons destinés à supporter descharges importantes, mais elles peuvent être utilisées comme bétons de remplissage destinés parexemple à niveler le fond d’une fouille de fondation ou à constituer le support d'un carrelage, à laréalisation de murs de clôture.

**4.4. Les liants aériens :**

**4.4.1. Chaux aérienne ou grasse :**

- Elle a été l’un des premiers liants utilisés (avec le plâtre et le bitume) depuis des millénaires. Au moyen âge, la chaux a été des plus employée (mélangée avec des tuiles ou des briques pilées); ainsi elle fût couramment utilisée jusqu’au milieu du 19e siècle.

- Il y avait alors en Algérie des milliers de petits fours à chaux dont il subsiste encore quelques vestiges.

- Cette chaux, obtenue par cuisson de roches calcaires (CaCO3) ou dolomitiques (association de CaCO3 et MgCO3) suivie d’une extinction à l’eau, durcissait lentement à l’air, ce qui lui a valu son appellation couramment employée de chaux aérienne.

**4.4.1. 1. Fabrication de la chaux aérienne**

Elle se fait selon les étapes suivantes (figure 1.4) :



Figure 1.3: Schéma de fabrication de la chaux aérienne

a. Extraction :

Le calcaire est extrait des carrières. Traditionnellement, l’extraction se faisait par des moyens manuels (pics, pioches,…). On a recours actuellement à l’utilisation d’explosifs (tirs de mine) pour faciliter

faciliter l’extraction de la roche, Les blocs ainsi obtenus sont charriés par des pelles mécaniques et

déposés dans des camions chargeurs. Ils sont acheminés vers les ateliers de préparation, où débute leurtransformation (concassage, criblage et calibrage).

**b. Concassage, criblage et calibrage :**

La première opération consiste à concasser, puis cribler les blocs, de façon à acquérir un calibre de pierrecompatible avec le type de four utilisé. Les fours verticaux requièrent une fourchette de calibre de 20 à 140mm, contre 5 à 40 mm pour les fours rotatifs.

**c. Cuisson ou calcination :**

Aujourd’hui deux types de fours sont employés dans l’industrie pour la cuisson :

**c.1. Four vertical ou four droit**

Se présente généralement sous la forme d’un cylindre en acier dim. Moy. : diam. 2m et H. 8m),

chemisé intérieurement avec un matériau réfractaire, résistant à l’abrasion et à la corrosion.

c.2. **Le four rotatif** possède les caractéristiques de ceux utilisés dans l’industrie cimentière. Pourfabriquer de la chaux, il cuit le matériau entre 1000°c et 1300°c, suivant le type de chaux produite.

**d. Extinction :**

C’est l’opération qui permet le passage de la chaux vive à chaux éteinte; elle s’accompagne d’uneaugmentation de volume : le ‘foisonnement’. Elle résulte d’un changement de structure moléculaire etde la formation d’aiguilles d’hydrate de chaux. Au moment de son utilisation, la chaux doit êtreentièrement hydratée, sous peine de voir des gonflements destructeurs se manifester dans lesouvrages.

14.1.2. Propriétés principales :

**a. Chimiques** :

La teneur en chaux libre et magnésie (CaO et MgO) doit être supérieure à 80%. La teneur en oxyde de carbone (CO) doit rester inférieure à 5%.

**b. Physiques :**

- Le refus au tamis de 800μ est nul et le refus au tamis de 80μ doit être inférieure à 10%.

- La finesse globale doit se situer dans l’intervalle de 8.000 à 20.000 cm2/g.

- La masse volumique apparente varie de 500 à 700 kg/m3 et la masse volumique absolue varie de 2200 à 2500 kg/m3.

- La chaux vive est très avide d’eau, elle s’éteint en s’hydratant avec un fort dégagement de chaleur (absorbe pour 1kg de chaux, 3 litres d’eau). Cette propriété est utilisée pour assécher et traiter les sols très imprégnés d’eau.

- La chaux éteinte durcit en fixant le gaz carbonique de l’air

pour redonner du carbonate de calcium.

Ca(OH)2 + CO2---------------CaCO3 + H2O

- La chaux aérienne présente un indice de clarté proche de 100(indice qui varie de 0 à 100), ce qui permet de révéler la colorationde l’agrégat.

- La chaux aérienne résiste bien au feu. Sa résistance réfractairevarie entre 1800 à 2000 °c.

-La chaux aérienne prend lentement. Le temps de début de prise est de 600 minutes (10heures).

- L’eau de gâchage pour l’obtention d’une pâte de chaux est de 8 à 15%.

- La chaux grasse est fortement basique, ce qui permet de neutraliser les acides du sol ou les eauxusées (produit bactéricide).

- La chaux grasse constitue un bon isolant à la fois phonique et thermique.

**1.4.1.3. Utilisation dans le bâtiment :**

Les chaux aériennes trouvent leurs applications les plus anciennes dans le bâtiment dans la préparation de mortiers et de badigeons.

**a. Enduits :**

- Ont principalement deux fonctions: protection et esthétique.

- Les mortiers de chaux présentent une grande élasticité, ce qui permet d’éviter les fissures de retrait et faïençage.

- Les mortiers de chaux, une fois durcis, ont la propriété d’être imperméable à l’eau tout en étant perméable à l’air.On dit que le mur respire.

- Le durcissement des enduits à base de chaux est lent; par conséquent, il est déconseillé de les utiliser à l’extérieur par période hivernale. Aussi, il faut protéger l’enduits frais contre le soleil et les vents violents.

**b. Mortiers de pose et de jointement :**

-La force de liaison d’un mortier de pose est plus importante que sa résistance à la compression. Les mortiers de chaux qui développent cette adhérence grâce à leur plasticité, sont ainsi bien adaptées à cet

emploi.

- Ils sont de surcroît peu perméables à l’eau et peu fissurables. Ils ne provoquent pas d’efflorescences.

- 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 anciens.

**c.Badigeons** :

- Sont obtenus en mettant la chaux éteinte en suspension dans l’eau à raison de 40 litres d’eau par sac de 25 kg. Ils sont réalisés à deux ou trois couches.

- Les badigeons sont réalisés sur des supports enduits, lissés, frottés ou décoratifs, pour donner un aspect uniforme aux couleurs et aux matériaux.

- Il peuvent avoir un effet curatif de bouchage sur des enduits microfissures ou faïencés, et rattraper des défauts d’aspect.

**d. Matériaux de construction :**

La chaux intervient aussi dans la fabrication de matériaux de construction :

- Les briques silico calcaires, sont fabriquées avec un mélange intime de chaux et de sable siliceux, compacté et étuvé.

- Les Bétons cellulaires, matériaux légers et isolants.

**1.4.2. Le plâtre :**

- Connu depuis l'Antiquité, le plâtre est un des plus anciens matériaux de construction fabriqués par l'homme. S'il est encore employé sous sa forme traditionnelle de poudre gâchée avec de l'eau pour réaliser des enduits, c'est sous la forme d'éléments préfabriqués en usine (carreaux, dalles, plaques) que son utilisation se développe aujourd'hui pour répondre aux besoins de la construction.

- Le plâtre s'obtient par déshydratation du gypse – roche naturelle ou sous-produit de certaines industries – qui est un sulfate de calcium hydraté de formule CaSO4. 2 H2O.

**1.4.2.1. Fabrication du plâtre**

La fabrication du plâtre à partir du gypse naturel comporte les étapes suivantes

**1. Extraction**

L’extraction du gypse naturel se pratique en carrières souterraines ou à ciel ouvert.

2. La réception du gypse et le calibrage

Avant d’être introduit dans les fours, le gypse subit un concassage et un criblage avec recyclage en fonction du procédé de cuisson. Le gypse peut éventuellement être séché dans des cylindres rotatifs avant d’être cuit.

**3. La cuisson**

- La cuisson permet d’obtenir par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre : CaSO42H2O-------- CaSO4 1/2H2O + 3/2 H2O

- Il existe de nombreux appareillages de cuisson que l’on classe habituellement suivant :

- le mode de cuisson : atmosphère sèche ou humide ;

— le type de four : fixe, rotatif ou autre.

- Donc la cuisson se fait suivant deux voies :

**3.a. Voie sèche**

- Elle est pratiquée pour obtenir la plus grande partie du plâtre. Elle permet d’obtenir le semi-hydrate β,grâce à des températures variant entre 110 à180°C dans des fours discontinus à chauffageindirect. Il est composé de 94% de CaSO4 et 6% de H2O de cristallisation.

**3.b. Voie humide**

- Cuisson effectuée en milieu aqueux à une température supérieure à 100°C, soit en autoclave sous pression (2 à 12 atmosphères), soit dans une solution saline concentrée. Ce procédé est utilisé pour obtenir le semi-hydrate α, qui est compact, cristallin, faiblement soluble dans l’eau avec laquelle il donne des produits fluides.

- Il fait l’objet d’une faible production (plâtre dentaire) et possède de fortes résistances mécaniques.

**4. Le broyage**

Après la cuisson, les pierres sont broyées selon 2 principes :

**a - Le broyage standard**

Le plâtre est réduit en particules de 200 μ grâce a un système de marteaux en rotation a l’intérieur d’un tamis (garantie d’une granulométrie maximale).

**b - Le broyage/sélectage**

Comme dans le broyage standard, le plâtre est broyé par des marteaux en rotation puis aspire a travers une “cage d’écureuil” en rotation. Selon son poids (donc sa taille), le grain de plâtre, soumis a 2 forces opposées (centrifuge et aspiration), traverse ou non la cage d’écureuil.

**5. Le mélange et l’adjuvantation**

Aux mélanges de plâtres Bêta et Alpha (dans des proportions trèsvariables selon l’usage que l’on souhaite faire du produit final), on ajoute des adjuvants : ciment blanc, chaux aérienne, résine synthétique, modificateur de prise, etc. ) ou de granulats légers. Ces derniers donneront au matériau une cinétique particulière, une expansion spécifique, une fluidité. Ceci forme une gamme variée de produits pour chaque usage particulier.

**6. Le contrôle et la validation des produits**

En amont (a l’extraction), l’humidité et la pureté du gypse font l’objet de contrôles périodiques. Ensuite, des échantillons sont prélevés tout au long du processus de fabrication et contrôlés par le laboratoire.

**1.4.2.2. Propriétés principales du plâtre**

* **Plâtre Gros :**

- Le refus au tamis de 800μ varie entre 5 et 20%,

- Eau de gâchage : 75 à 100%

- Temps de prise : 8 à 25 minutes,

- Consommation : 8kg/m2 (5 m2 / sac de 40 kg),

* **Plâtre Fin :**

- Le refus au tamis de 800μ < 1%, et le refus à 200μ = 25%,

- Eau de gâchage : 40 à 100%

- Temps de prise : 30 à 60 minutes

- Consommation : 8 à 12 kg/m2,

-La masse volumique apparente varie entre 600 et 1300 kg/m3

- La surface spécifique de 1500 à 8000 cm2/g.

- La durée de la prise dépend de la nature du plâtre, de la température ambiante, de la quantité d’eau de gâchage, des adjuvants, etc. Le plâtre est caractérisé par un temps de prise court et un durcissement rapide.

- L’hydratation du plâtre est accompagnée d’une expansion de l’ordre de 0,3 à 1,5% suivant les plâtres, suivie d’un léger retrait dû à l’évaporation de l’eau (1/10e du gonflement). Cette propriété d’expansion rend le plâtre particulièrement apte aux moulages, le plâtre pénètre en force dans tous les creux du moule.

- Le plâtre est un matériau poreux. Il est éventable et perméable à la vapeur d’eau. Humide, le plâtre favorise l’apparition de moisissures; ce qui accélère sa dégradation. il n’est pas recommandé d’utiliser le plâtre seul pour la confection des revêtements extérieurs.

- Le plâtre est un matériau incombustible. Lors d’un incendie, la plâtre (gypse) libère 18 à 20% de son eau de constitution. La face non exposée reste inférieure à T=140°c prévue par la réglementation. Par exemple une porte métallique non revêtue ne présente aucune résistance au feu; revêtue de 2 cm d’un enduit de plâtre, elle résiste 1h30 au feu.

- Le plâtre présente un faible coefficient de conductibilité thermique 0,4 à 0,6 kcal/m.h.°c. C’est un bon isolant thermique et phonique.

**1.4.2.3. Utilisation dans le bâtiment :**

**1. Enduits :**

- Le plâtre mélange à la chaux grasse (10 à 15%) et au sable donne un mortier très utilisé comme enduit extérieur et intérieur (photo 1.4).

  
Photo 14: Enduit intérieur au plâtrePhoto 1.5: Enduit au plâtre gros

-On emploie le plâtre gros (photo 1.5) pour la première couche d’application sur les plafonds et les murs, pour les travaux de remplissage et pour les planchers.

- On utilise le plâtre fin pour la dernière couche de finition.