



UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN - TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL



POLYCOPIÉ DE COURS

Matériaux de construction I

Élaboré par Mme ZOUATNIA Nafissa
Maître de Conférences B

Experts :
Pr. CHIKH Abdelbaki
Dr. DRAOUI Aicha

Année universitaire 2024-2025

AVANT-PROPS

S'appuyant sur la documentation riche et disponible dans le domaine, nous avons mis au point ce travail, présenté comme un support du cours de Matériaux de construction I. Ce dernier définit des généralités et propriétés des matériaux de construction, caractéristiques des granulats, les liants aériens et les liants hydrauliques ainsi les caractéristiques principales des mortiers.

Ce polycopié s'adresse aux étudiants de licence LMD en Génie Civil et Travaux publics. Il est rédigé de manière que l'attention du lecteur se concentre sur les applications pratiques du sujet traité. Des problèmes sont accompagnés de leurs solutions et des exercices sans solutions sont laissés à la réflexion des étudiants et pourront faire l'objet de travaux dirigés.

Enfin, avec les développements dans les matériaux de constructions accompagnés de quelques applications; ce polycopié constitue une référence pédagogique orientée au niveau de l'université de Tiaret, dans l'objectif de faciliter toutes consultations ou enseignement du module concerné

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	i
--------------------	---

Chapitre I : Généralités et propriétés des matériaux de construction

I.1 Introduction.....	1
I.2 Objectifs.....	1
I.3. Définitions.....	2
I.3.1. Classification des matériaux de construction	2
I.3.2. Propriétés des matériaux	3
I.3.2.1. Propriétés physiques	3
I.3.2.2. Les propriétés chimiques	5
I.3.2.3. Les propriétés mécaniques	5
I.4. Exercices	6

Chapitre II : Caractéristiques des granulats

II.1. Objectifs	7
II.2. Définitions.....	7
II.3. Texture et forme des granulats	8
II.3.1. Premier groupe	8
II.3.2. Deuxième groupe (propreté)	8
II.4. Les caractéristiques physiques des granulats	10
II.5. Résistance mécanique des granulats	10
II.5.1. Module de finesse	13
II.5.2. Correction du module de finesse du sable	13

Chapitre III : Les liants aériens et les liants hydrauliques

III.1. Introduction	15
III.2. Liants aériens (Chaux grasse)	15
III.2.1. Fabrication	16
III.2.2. Propriétés principales	19

III.2.3. Utilisation dans le bâtiment	20
III.3. Liants hydraulique (ciment portland).....	20
III.3.1. Fabrication du ciment.....	20
III.3.2. Extraction et concassage	21
III.3.3. Préparation de cru	22
III.3.4. Cuisson ou calcination	22
III.3.5. Broyage	23
III.3.6. Les expéditions	23
III.4. Propriétés du ciment	24
III.4.1. Propriétés physiques	24
III.4.1.1. Finesse de mouture	24
III.4.1.2. La consistance	25
III.4.1.3. La prise	25
III.4.1.4. Retrait.....	26
III.4.1.5. Expansion	26
III.4.2. Propriétés mécaniques	26
III.5. Spécifications physiques et mécaniques	28

Chapitre IV : Caractéristiques principales des mortiers

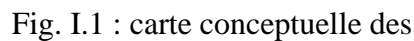
IV.1. Introduction	30
IV.2. Composition	30
IV.3. Les différents types de mortiers	31
IV.4. Propriétés	31
IV.4.1. Mortier plastique.....	31
IV.4.1.1. Mesure de l'ouvrabilité du mortier	32
IV.4.2. Mortier durci	33
IV.5. Emplois des mortiers	34

Normalisation

Références bibliographiques

Table des matières

L'étude des matériaux de construction est une pierre angulaire de nombreux domaines, de l'architecture à l'ingénierie civile. Comprendre les différentes substances utilisées dans la construction et leurs caractéristiques est essentiel pour concevoir des structures sûres, durables et efficaces. Ce domaine explore les propriétés des matériaux tels que le béton, l'acier, le bois et les composites, ainsi que leurs applications pratiques dans la construction. En combinant théorie et pratique, les étudiants acquièrent les connaissances nécessaires pour choisir les matériaux les plus adaptés à chaque projet, tout en tenant compte des considérations environnementales et de durabilité.



L'objectif du chapitre porte des généralités et les propriétés des matériaux de construction est de fournir aux étudiants une introduction approfondie aux principaux concepts et caractéristiques des matériaux utilisés dans la construction. Voici quelques objectifs spécifiques pour ce chapitre :

1

- **Identifier les propriétés fondamentales des matériaux** : Examiner les propriétés physiques et mécaniques des matériaux, telles que la résistance, la rigidité, la ductilité, la durabilité, la conductivité thermique et électrique, etc.
- **Expliquer les facteurs influençant le comportement des matériaux** : Analyser les facteurs internes et externes qui affectent le comportement des matériaux, tels que la composition chimique, la structure cristalline, les conditions environnementales, etc.
- **Appréhender les méthodes de caractérisation des matériaux** : Introduire les techniques et les méthodes utilisées pour évaluer et mesurer les propriétés des matériaux, telles que les essais de laboratoire, les normes de qualité, les méthodes de contrôle de la qualité, etc.
- **Comprendre l'importance des normes et des réglementations** : Mettre en évidence l'importance de respecter les normes de qualité et les réglementations en vigueur dans l'industrie de la construction pour garantir la sécurité, la durabilité et la fiabilité des structures.

I.3. Définitions

Les matériaux de construction sont considérés comme tous les matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages en béton armé ou en constructions métallique, ainsi qui sont largement utilisés dans le domaine de travaux publics (Route, ponts, aéroport. etc.).

I.3.1. Classification des matériaux de construction

a) Classification scientifique : Dans la science des matériaux, selon la composition et la structure, les matériaux sont classés comme suit :

- Métaux et alliages ;
- Polymères ;
- Céramiques.

b) Matériaux de base et produits :

- Matériaux de base ou matière première (Argiles, pierres, bois, calcaire, métaux).
- Matériaux produits et composites (ciment (Calcaire + argile), alliages, béton,).

c) Classification pratique : Dans la construction, les matériaux sont classés selon le domaine d'emploi et selon leurs propriétés principales (Résistance, compacité,..) :

- Les matériaux de résistance : Sont les matériaux qui ont la propriété de résister contre des sollicitations (poids propre, surcharge, séisme) : parmi les matériaux les plus fréquemment utilisées sont : Pierres, Terres cuites, Bois, Béton, Métaux, etc.
- Les matériaux de protection : Sont les matériaux qui ont la propriété d'enrober et de protéger les matériaux de construction principaux contre les actions extérieurs, tels que : Enduits, Peintures, Bitumes, etc.

I.3.2. Propriétés des matériaux

Les propriétés principales des matériaux peuvent être divisées en plusieurs groupes tels que :

- **Propriétés physiques** : qui mesurent le comportement de matériaux à l'action de la température, l'humidité (la densité; la masse volumique, la porosité, l'absorption, la perméabilité, le retrait (le gonflement) etc..) ;
- **Propriétés chimiques** : qui caractérisent le comportement des matériaux dans un environnement réactif. (corrosion chimique, l'attaque de l'acide, etc...)
- **Propriétés mécaniques** : qui reflètent le comportement des matériaux déformés par les forces. (la résistance en compression, en traction, en flexion, torsion etc...)
- **Propriétés thermiques** : (la dilatation, la résistance et comportement au feu, etc...)

I.3.2.1. Propriétés physiques

- **La densité** : la densité est le degré de remplissage de la masse d'un corps par la matière solide. Elle est calculée par le rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau à une température de 20°C. Elle est exprimée sans unité.

- **La masse volumique apparente** : C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (gr/cm^3 ; kg/m^3 ; T/m^3). On peut déterminer la masse volumique d'un matériau en utilisant la formule suivante :

$$\gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}}$$

Ou :

M_s : masse d'un corps sèche.

V_{ap} : volume apparent.

Porosité et compacité

- **Porosité et compacité** : La porosité est le rapport du volume vide au volume total de la matière.

$$P = \frac{V_{vide}}{V_{total}} \times 100(\%)$$

La compacité est le rapport du volume solide au volume total de la matière.

$$C = \frac{V_{solide}}{V_{total}} \times 100(\%)$$

La porosité et la compacité sont liées par la relation suivante : $p + c = 1$.

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en pourcentage (%).
La somme des deux est alors égale à 100%.

- **L'humidité** : L'humidité est une des propriétés importante des matériaux de construction. C'est la teneur en eau réelle d'un matériau qui contient dans les pores. En général l'humidité est notée W et s'exprime en pourcentage (%).

On peut déterminer l'humidité de matériaux quelconques en utilisant la formule suivante :

$$w = \frac{G_h - G_s}{G_s} \times 100(\%)$$

Ou :

G_s : la masse sèche d'échantillon (après passage à l'étuve).

G_h : la masse humide d'échantillon.

Le degré de l'humidité des matériaux dépend de beaucoup de facteurs, surtout de l'atmosphère où ils sont stockés, le vent, la température et de la porosité du matériau.

- Capacité d'absorption d'eau massique « Ab » : L'absorption d'eau par immersion est la différence entre la masse d'un échantillon saturé dans l'eau et sa masse à l'état sec. L'absorption d'eau se calcul comme suit :

$$Ab = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100$$

Avec :

M_{sec} : masse sèche de l'échantillon après passage à l'étuve sous une température de 105°C. M_{sat} : masse de l'échantillon saturé dans l'eau (Après 24 heures).

- La masse volumique absolue : C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de la matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (g/cm³, kg/m³ ou T/m³).

La figure 1.2 explique la méthode de détermination de la masse volumique absolue d'une matière.

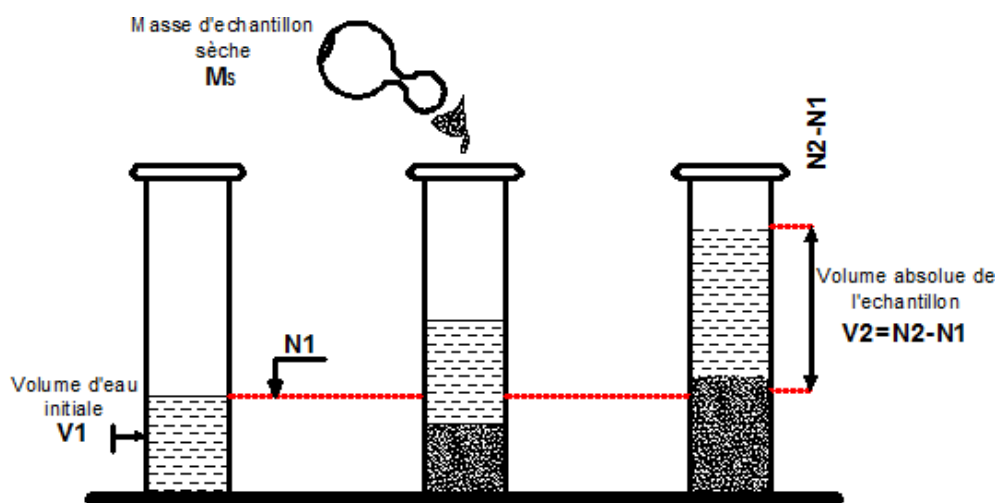


Fig. I.2 : Mesure de la masse volumique absolue.

Exemple : Déterminer la masse volumique apparente et absolue d'un sable et d'un gravier 15/25.

$$\begin{aligned} \text{Sable} \quad & \begin{cases} \gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} = \frac{1.54}{1} = 1.54 \text{ kg/l} \\ \gamma_{ap} = \frac{M_s}{N_2 - N_1} = \frac{2.51}{2-1} = 2.55 \text{ kg/l} \end{cases} \\ \\ \text{Gravier} \quad & \begin{cases} \gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} = \frac{1.41}{1} = 1.41 \text{ kg/l} \\ \gamma_{ap} = \frac{M_s}{N_2 - N_1} = \frac{2.58}{2-1} = 2.58 \text{ kg/l} \end{cases} \end{aligned}$$

I.3.2.2. Les propriétés chimiques

Les propriétés chimiques déterminent la stabilité chimique d'un matériau qui est un pouvoir de ce matériau en service de résister à l'action chimique des acides ou à l'action des facteurs atmosphériques comme l'humidité, température,...etc.

I.3.2.3. Les propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des matériaux sont caractérisées par la capacité de résister à toute sollicitation extérieure (compression traction, flexion, fluage etc.). Elle est définie par la contrainte maximale de rupture d'un matériau sous un chargement extérieur (force, poids). On distingue principalement :

- La résistance en compression,
- La résistance en traction (directe ou par flexion),

1.4. Exercices

Exercice 1

Caractéristiques des matériaux, Identifiez les propriétés suivantes des matériaux de construction :

La capacité d'un matériau à résister à une déformation permanente sous l'effet d'une contrainte est appelée :

- a) Résilience
- b) Ductilité
- c) Rigidité.

La capacité d'un matériau à conduire la chaleur est mesurée par son :

- a) Conductivité thermique

- b) Résistance électrique
- c) Conductivité électrique

La résistance d'un matériau à la propagation de fissures est appelée :

a) Résistance à la traction

- b) Résistance à la flexion
- c) Ténacité**

Solution :

b) Ductilité

- a) Conductivité thermique
- c) Ténacité

Exercice 2 : Application des propriétés des matériaux

Un ingénieur doit choisir un matériau pour la construction d'une passerelle piétonne dans une région sujette à des températures extrêmes. Quel matériau serait le plus approprié en raison de ses propriétés thermiques ?

- a) Béton
- b) Acier
- c) Aluminium

Justifiez votre réponse en expliquant les propriétés thermiques du matériau choisi.

Solution :

L'acier a une conductivité thermique relativement faible par rapport à l'aluminium, ce qui signifie qu'il transfère la chaleur à un rythme plus lent. Cela en fait un meilleur choix pour une passerelle piétonne dans une région sujette à des températures extrêmes, car il réduira le risque de surchauffe ou de refroidissement rapide de la structure métallique, offrant ainsi un environnement plus confortable pour les piétons. De plus, l'acier a une plus grande résistance à la traction que l'aluminium, ce qui est important pour supporter les charges de piétons et de charges climatiques telles que la neige ou le vent.

II.1. Objectifs

L'objectif du chapitre sur les **caractéristiques des granulats** est de permettre aux étudiants de comprendre en profondeur les propriétés et les aspects essentiels des granulats utilisés dans la construction, en particulier dans la production de béton. Voici quelques objectifs spécifiques pour ce chapitre :

- **Comprendre la nature des granulats** : Expliquer ce que sont les granulats et leur rôle dans la production de béton et d'autres matériaux de construction, ainsi que les différentes sources de granulats disponibles.
- **Étudier les propriétés physiques des granulats** : Examiner les caractéristiques physiques telles que la taille, la forme, la texture, la densité, la porosité, etc., et comprendre comment ces propriétés influent sur la qualité et les performances du béton.
- **Analyser les propriétés mécaniques des granulats** : Étudier les propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression, la résistance à la traction, la ténacité, etc., et comprendre leur impact sur la résistance et la durabilité du béton.
- **Évaluer les propriétés chimiques des granulats** : Examiner les propriétés chimiques telles que la composition minéralogique, la réactivité chimique, la teneur en impuretés, etc., et comprendre leur influence sur la durabilité et la résistance chimique du béton.
- **Appréhender les méthodes d'essai des granulats** : Introduire les différentes méthodes et normes utilisées pour évaluer les propriétés des granulats, y compris les essais de laboratoire tels que la granulométrie, la masse volumique, les essais de résistance, etc.

II.2. Définitions

On appelle "granulats" les matériaux inertes, sables, graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage.

- **Les granulats naturels** : issus de roches meubles ou massives extraites in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécanique.
- **Les granulats artificiels** : qui proviennent de la transformation thermique des roches, de minerais, des sous produits industriels (laitiers,).
- **Les granulats recyclés** : ce sont les matériaux qui proviennent de la démolition des ouvrages existants en béton.

II.3. Texture et forme des granulats

La forme des granulats a une incidence sur la maniabilité des bétons, la forme la plus souhaitable se rapprochant de la sphère ; une mauvaise forme (aiguilles, plats) nécessite une quantité d'eau plus élevée et peut provoquer les défauts d'aspect.



Fig. II.1 : Texture et forme des granulats

La forme d'un granulat est définie par :

- Sa longueur **L**,
- Son épaisseur **E** qui est le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles.
- Sa grosseur **G**

La forme des granulats influent sur la facilité de mise en œuvre et le compactage du béton. Ainsi la compacité du mélange, donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment. En plus l'état de surface des grains influent sur la compacité du mélange et l'adhérence du granulat à la pâte de ciment.

II.3.1. Premier groupe

- La masse volumique apparente
- **La porosité.**
- **L'absorption des granulats.**

II.3.2. Deuxième groupe (propreté)

Pour les sables, la propreté est contrôlée par l'essai dit "Equivalent de sable" (E.S.) (NF P 18-598). On agite une certaine quantité de sable dans une solution lavante (cette solution contient

111 g de chlorure de calcium anhydre, 480 g de glycérine et 12 g de formaldéhyde pour 40 litres d'eau). On détermine la propreté d'un sable en utilisant la méthode présentée sur la figure II.2.

Avec :

$$E_s = 100 \frac{h_1}{h_2}$$

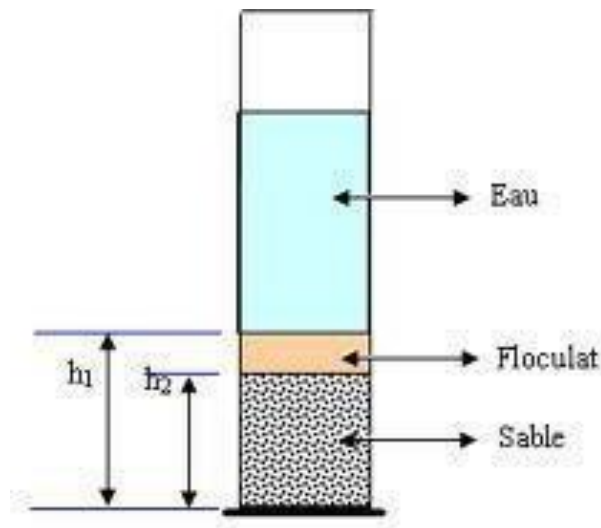


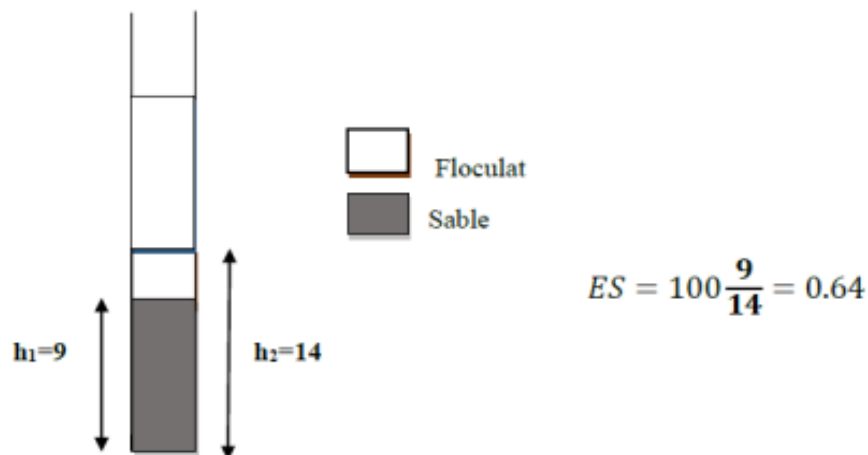
Fig. II.2 : Méthode de mesure de la propreté du sable.

Les Valeurs préconisées par la norme (NF P 18-598) pour déterminer la nature et la qualité du sable sont illustrées dans le tableau II.1.

Tableau II.1 : Les Valeurs préconisées par la norme (NF P 18-598)

Equivalent du sable (ES)	Nature	Qualité du sable
ES<60	Sable argileux	Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60≤ES<70	Sable légèrement argileux	De propreté admissible pour le béton de qualité
70≤ES<80	Sable propre	Convenant parfaitement pour les bétons de qualité
ES>80	Sable très propre	Risque d'entraîner un défaut de plasticité

Exemple :



Interprétation des résultats : Sable légèrement argileux ; admissible pour les bétons de qualité courante.

II.4. Les caractéristiques physiques des granulats

On peut les classer en deux groupes :

- Celles qui concernent le granulat lui-même;
- Celles qui concernent la teneur en substances étrangères et nocives.

II.5. Résistance mécanique des granulats

a) L'essai-Deval

L'essai Deval a pour but de mesurer la résistance à l'attrition d'un matériau. L'attrition est reproduite dans l'essai par une combinaison de frottements réciproques et de chocs modérés. L'essai s'effectue sur tous les granulats de classe granulaire 25-50 mm, d'origine naturelle ou artificielle utilisés pour le ballast des voies ferrées. Il existe deux types d'essai : à sec ou humide. L'essai s'applique à tous les matériaux, quelle que soit la nature minéralogique, et fournit une évaluation à l'aptitude du matériau à se transformer dans la chaussée sous l'action mécanique des véhicules. La résistance à l'attrition par frottements réciproques et chocs modérés du matériau s'exprime par un coefficient dit "coefficient Deval". Ce coefficient est égal par définition, à :

$$CD = \frac{2800}{P}$$

Où

p : poids en grammes des éléments inférieurs à 1,6 mm créés dans la machine Deval.

- Si l'essai est effectué à sec, le coefficient obtenu sera appelé "coefficient Deval sec".

- Si l'essai est effectué en présence d'eau, il sera appelé "coefficient Deval humide". L'essai donne également des indications sur la fragilité du matériau).

b) L'essai micro-Deval

L'essai micro- Deval permet de déterminer la résistance à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Le matériau évolue pendant l'essai par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive) à sec ou en présence d'eau. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 4-6.3mm; 6.3-10 mm; 10-14 mm; 25-50 mm. Pour les essais effectués sur les gravillons entre 4 et 14 mm, une charge abrasive est utilisée. La résistance à l'usure s'exprime par le coefficient Micro-Deval qui s'écrit :

$$CMD = \frac{m}{M} \times 100(\%)$$

Ou

M : la masse du matériau soumis à l'essai.

m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai.

c) L'essai Los Angeles

L'essai (N.F. P18.573) permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement. Le matériau évolue pendant l'essai, d'une part par suite du choc des boulets sur le granulat (rupture fragile des éléments), d'autre part par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine et sur les boulets.

$$LA = \frac{m}{5000} \times 100(\%)$$

m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai.

NB : Pour un bon béton une valeur max de LA=30 est demandée.

d) Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

L'essai de l'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en plusieurs classes granulaires au moyen d'une série de tamis. Les tamis ayant des mailles carrées dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres s'étalant entre 0.063 mm et 125mm suivant une progression géométrique :

0.063 – 0.08 – 0.10 – 0.125 – 0.16 – 0.2 – 0.25 – 0.315 – 0.4 – 0.5 – 0.63 – 0.8 – 1 – 1.25 – 1.6 – 2 – 2.5 – 3.15 – 4 – 5 – 6.3 – 8 – 10 – 12.5 – 14 – 16 – 20 – 25 – 31.5 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus seront exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe d'analyse granulométrique).

En déduire ensuite les refus et les tamisats cumulés en poids (gramme) et en pourcentage comme le montre le tableau (tableau 2.2).

NB: pour que l'essai soit valide, la somme de refus cumulé et le tamisat au dernier tamis ne doit pas différer de plus de 2 % de la masse initiale soumise à l'essai.

Tableau II.2 : Résultats de l'analyse granulométrique

Maille des Tamis (mm) (en ordre décroissant)	Masse du refus partiel (g)	Masse du refus cumulé (g)	Refus cumulé en Pourcentage (%)	Tamisât cumulé en Pourcentage (%)

- Masse du refus cumulé (g) : R_i

- Refus cumulé en Pourcentage (%) : $\frac{R_i}{M_s} \times 100$

- Tamisât en Pourcentage (%) : $1000 - \left(\frac{R_i}{M_s} \times 100 \right)$

Les courbes granulométriques des différents types des granulats sont représentées sur la figure 2.3 (en abscisse les dimensions des mailles sur une échelle logarithmique, et en ordonnée les pourcentages des refus ou des tamisats cumulés sur une échelle arithmétique).

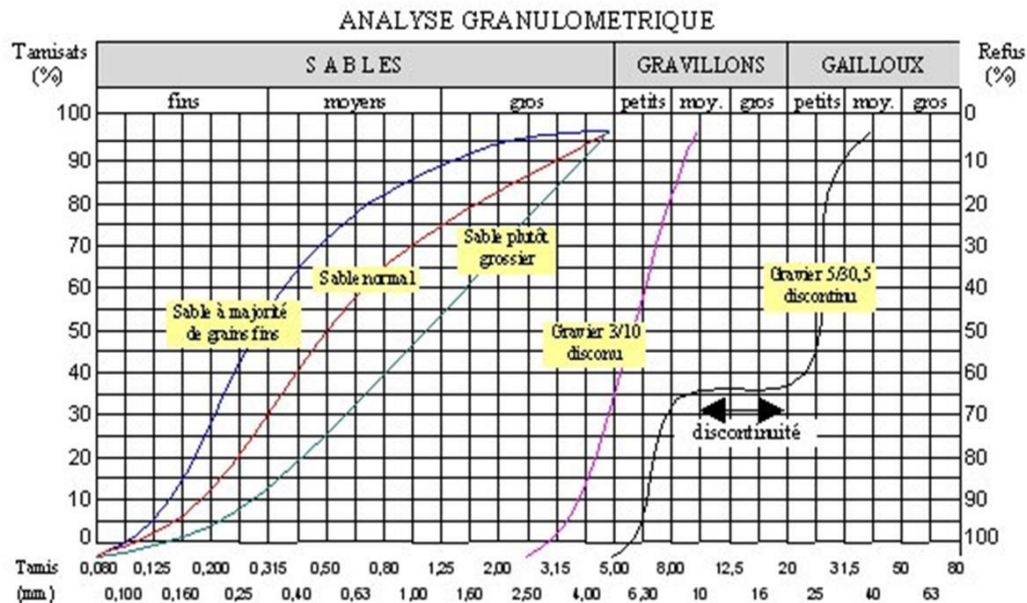


Figure 2.3: Les courbes granulométriques des différents types des granulats

Fig. II.3 : Les courbes granulométriques des différents types des granulats.

II.5.1. Module de finesse

II.5.1.1. Méthode

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

Le module de finesse d'un sable est égal au **1/100** de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : **0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 et 5 mm.**

$$= 1/100 \sum \epsilon \% \{0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5\}$$

Sable un peu trop fin : MF varie de **1.80 à 2.20** (recherche de facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance),

Sable préférentiel : MF varie de **2.20 à 2.80** (ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités),

Sable un peu trop grossier : MF varie de **2.80 à 3.20** (recherche de résistance élevée mais on aura, en général, une faible ouvrabilité et des risques de ségrégation).

II.5.2. Correction du module de finesse du sable

La reconstitution (correction) des sables peut se faire expérimentalement en mélangeant au sable principal le sable d'ajout en proportion croissante jusqu'à obtenir un mélange constituant un sable donnant au béton les qualités recherchées. Mais la connaissance des MF des sables composants et celui que l'on désire obtenir permet de résoudre le problème directement par la règle d'Abrams.

On pourra utiliser la règle d'Abrams :

- Un sable grossier S 1 de module de finesse MF 1.
- Un sable fin S 2 de module de finesse MF 2.
- Le sable de mélange S de module de finesse souhaité MF.

III.1. Introduction

Les liants minéraux sont des matériaux moulus d'une façon très fine. Malaxés à l'eau, ils donnent une pâte collante qui durcit graduellement pour devenir une pierre artificielle. Dans les travaux de construction, les liants minéraux sont mélangés avec l'eau et/ou les granulats (sable, gravillon, gravier), pour devenir une pâte de ciment ou mortier ou encore béton. Il est connu que certains liants durcissent à l'air seulement et d'autres dans des milieux humides ou dans l'eau. Cette propriété nous permet de classer les liants minéraux en :

- Liants aériens : qui ne durcissent et ne peuvent conserver leurs propriétés mécaniques qu'à l'air (ex.: chaux grasse, plâtre),
- Liants hydrauliques : qui durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques non seulement à l'air mais aussi dans l'eau (ex. : chaux hydraulique, ciment Portland,...).

III.2. Liants aériens (Chaux grasse)

La chaux grasse a été l'un des premiers liants utilisés (avec le plâtre et le bitume) depuis des millénaires. Les chinois, les égyptiens, les mayas ont construit des édifices durables avec des mortiers à base de chaux. Au moyen âge, la chaux a été des plus employée (mélangée avec des tuiles ou des briques pilées); ainsi elle couramment utilisée jusqu'au milieu du 19eme siècle. La chaux, obtenue par cuisson de roches calcaires (CaCO_3) ou dolomitiques (association de CaCO_3 et MgCO_3) suivie d'une extinction à l'eau, durcissait lentement à l'air, ce qui lui a valu son appellation couramment employée de chaux aérienne.



Figure III.1 : Les courbes granulométriques des différents types des granulats.

III.2.1. Fabrication

a) Extraction

Le calcaire est extrait des carrières. Traditionnellement, l'extraction se faisait par des moyens manuels (pics, pioches,...) comme le montre la figure III.2. On a recours actuellement à l'utilisation d'explosifs (tirs de mine) pour faciliter l'extraction de la roche. Les blocs ainsi obtenus sont de la roche, charriés par des pelles mécaniques et déposés dans des camions chargeurs. Ils sont acheminés vers les ateliers de préparation, où débute leur transformation (concassage, criblage et calibrage).



Figure III.2 : Extraction de la matière première.

b) Concassage, criblage et calibrage

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

c) Cuisson ou calcination

Deux types de fours sont employés dans l'industrie pour la cuisson du calcaire.

- Four vertical ou four droit, sur le modèle des fours primitifs, 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 (Voir la figure III.3). Il comporte des ventilateurs de tirage. La partie inférieure est munie d'une grille de défournement. Les perfectionnements de ces dernières années ont contribué à faire du four droit annulaire le plus économique d'un point de vue énergétique.



Figure III.3 : Four vertical ou four droit.

- Le four rotatif possède les caractéristiques de ceux utilisés dans l'industrie cimentière (voir la figure 3.4). Pour fabriquer de la chaux, il cuit le matériau entre 1000°C et 1300°C , suivant le type de chaux produite. Le calcaire est introduit par l'un des côtés. Il traverse une zone de préchauffage avant de subir la calcination. La chaux est refroidie avant d'être extraite. La pierre descend lentement en traversant d'abord une zone de préchauffage. Cette opération importante permet l'évaporation de l'eau libre contenue dans la pierre et évite l'éclatement des blocs, Puis la pierre traverse une seconde zone où elle subit la calcination. C'est une décarbonatation qui a pour effet d'entraîner la perte de " CO_2 " à partir de 900°C . Dans les dolomies, la décarbonatation se fait à une température inférieure ou égale à 400°C pour donner de la magnésie (MgO). Les vapeurs d'eau produites sont évacuées avec les fumées et participent à la bonne décarbonatation du calcaire. La chaux vive ainsi produite continue sa descente vers une troisième zone de refroidissement, avant d'être extraite. L'arrivée d'air frais au bas du four provoque un courant d'air qui parcourt le four en sens inverse et intervient dans les différentes étapes de fabrication de la chaux : refroidissement, combustion du combustible,...etc.



Figure III.4 : Four rotatif pour la fabriquer de la chaux.

d) Extinction

C'est l'opération qui permet le passage de la chaux vive à la chaux éteinte ; elle s'accompagne d'une augmentation de volume : le foisonnement. Elle résulte d'un changement de structure moléculaire et de la formation d'aiguilles d'hydrate de chaux. Au moment de son utilisation, la chaux doit être entièrement hydratée, sous peine de voir des gonflements destructeurs se manifester dans les ouvrages. L'extinction est obtenue par adjonction d'eau et peut s'effectuer selon diverses méthodes :

- Méthode de l'extinction spontanée : est obtenue en soumettant la chaux vive à l'action lente et continue de l'air. L'humidité présente dans l'atmosphère assure le rôle de l'eau d'extinction.
- La méthode par arrosage manuel : consiste à apporter la juste quantité d'eau nécessaire à l'extinction (10 à 15%). La réaction est exothermique (dégagement de chaleur) et engendre des projections dans le cas de blocs de chaux.
- La méthode traditionnelle par immersion : comporte le trempage de blocs dans l'eau, puis l'égouttage et enfin le stockage pour laisser se poursuivre l'extinction. Cette opération est exothermique (15500 cal/mol.g; $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$). L'incorporation de la chaux doit se faire avec précaution, car la réaction peut entraîner des projections et des bouillonnements.
- L'extinction par fusion, dite extinction ordinaire : consiste à mettre la quantité d'eau utile, pour obtenir une bouillie épaisse (chaux en pâte). Cette méthode implique une bonne maîtrise de la quantité d'eau car il faut éviter de brûler (formation de grumeaux) ou de

noyer (mauvaise consistance) la chaux. Les granulats de chaux vive sont broyés et passent par un hydrateur. L'eau introduite (7 à 10%) permet l'hydratation de la chaux vive, mais elle aide également à l'évacuation de la chaleur dégagée lors de la réaction ($T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$). Les particules qui n'ont pas réagi appelées "grappiers" (impuretés, surcuits, incuits,...) sont éliminées par tamisage. La chaux éteinte pulvérulente est tamisée, conditionnée en sac de 25 ou 50kg ou en vrac.

III.2.2. Propriétés principales

a) Physiques :

- Le refus au tamis de 800μ est nul et le refus au tamis de 80μ doit être inférieur à 10%.
- La finesse globale doit se situer dans l'intervalle de 8.000 à 20.000 cm^2/g .
- La masse volumique apparente varie de 500 à 700 kg/m^3 et la masse volumique absolue varie de 2200 à 2500 kg/m^3 .
 - 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 résistance réfractaire de la chaux aérienne varie entre 1800 à 2000 $^{\circ}\text{C}$.
 - La chaux aérienne prend lentement. Le temps de début de prise est de 600 minutes (10heures).
 - Les chaux aériennes trouvent leurs applications dans le bâtiment dans la préparation de mortiers et de badigeons.

b) 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%.

III.2.3. Utilisation dans le bâtiment

- Enduits: On distingue 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, afin d'assurer la respiration du mur.
- 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 adaptés 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.

III.3. Liants hydraulique (ciment portland)

Les Romains et les Grecs savaient déjà fabriquer du liant hydraulique en faisant réagir la chaux éteinte et des cendres volcaniques. La recherche sur l'hydraulicité des chaux a commencé à la fin du 18e siècle, pour aboutir vers 1840 à la fabrication des ciments modernes. Le Français Louis Vicat découvre en 1817 le principe d'hydraulicité des chaux - concernant la proportion d'argile et la température de cuisson- et publie ses travaux sans prendre de brevet. En 1840, Louis Vicat découvre les principes d'hydraulicité des ciments Portland, par une cuisson à une température de 1450°C qui permet d'obtenir le clinker.

III.3.1. Fabrication du ciment

Le ciment Portland est une poudre minérale dont la propriété est de durcir sous l'eau, formant une pâte qui durcit suivant une réaction et un processus d'hydratation. La fabrication de ciment passe par les opérations suivantes :

- Extraction et concassage,
- Préparation du cru,
- Cuisson ou calcination Broyage,
- Expéditions.

Le constituant principal du ciment est le clinker, obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de 80 % de calcaire et 20% d'argile. La figure III.5 montre les étapes de fabrication du ciment portland.

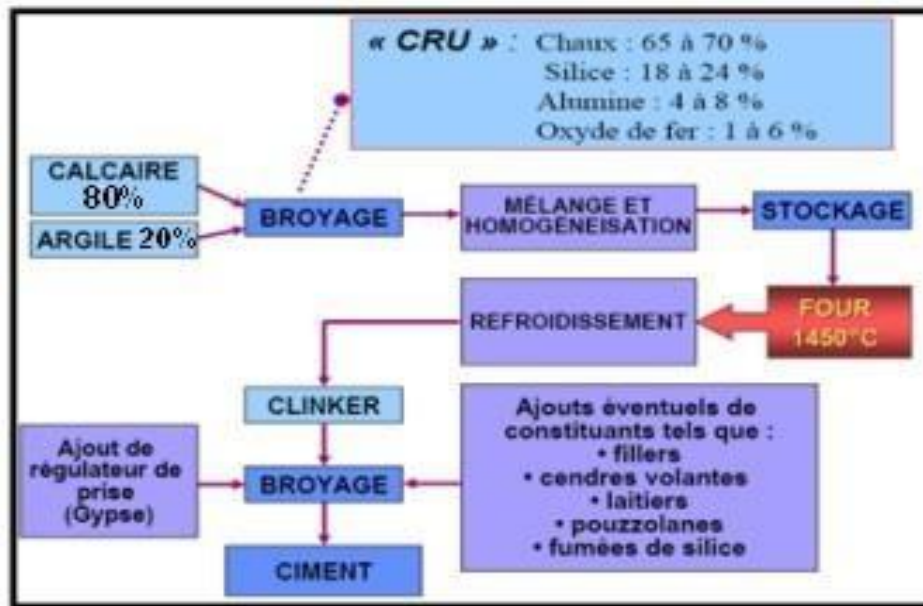


Figure III.5 : Four rotatif pour la fabriquer de la chaux.

III.3.2. Extraction et concassage

Cette étape consiste à extraire les matières premières (calcaire et argile), à partir de carrières naturelles à ciel ouvert (figure III.6). Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. Les blocs de roches obtenus sont transportés et broyés en éléments de dimensions maximales de 50 mm. Les matières premières sont échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice).



Figure III.6 : Extraction de la matière première.

III.3.3. Préparation de cru

Les grains de calcaire et d'argile sont infiniment mélangés par broyage et délayage, dans les proportions définies, en un mélange très fin appelé "cru". Des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion comme l'oxyde de fer. Le cru est

préparé automatiquement sous forme de poudre (pré- homogénéisation). La pré-homogénéisation permet d'atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment par superposition de multiples couches. Cette poudre de cru, est une nouvelle fois homogénéisée par fluidisation, corrigée si nécessaire puis stockée en silo avant l'introduction au four (figure. III.7).



Figure III.7 : Méthode de préparation du cru.

III.3.4. Cuisson ou calcination

Les installations de cuisson sont similaires et comportent deux parties : un échangeur de chaleur, comportant 4 à 5 cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure progresse jusqu'à l'entrée du four, qui se réchauffe au contact des gaz chauds sortant du four et se décarbonate en partie. La deuxième partie est la cuisson dans un four cylindrique ayant 60 à 150 mètres de long et de 4 à 5 mètres de diamètre, légèrement incliné et tournant à environ 1 tour/mn (figure 3.8). Le cru pénètre à l'amont du four où s'achève la décarbonatation et progresse jusqu'à la zone de clinkérisation (1450 °C). Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile (silicates d'alumine et d'oxyde de fer) se combinent avec la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et aluminates de chaux.



Figure III.8 : Le four cylindrique rotatif.

III.3.5. Broyage

Le clinker obtenu est véhiculé vers les trémies des broyeurs où il est finement broyé et mélangé avec 3 à 5% de gypse, qui sert de régulateur de prise. Dans certains cas, on ajoute d'autres constituants tels que le laitier, la pouzzolane, les cendres volantes et les fillerscalcaires pour l'obtention de divers types de ciment. Les compositions chimiques du clinker sont mentionnées dans le tableau III.1.

Tableau 3.1 : Composition chimique de clinker.

Eléments	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₅	MgO	Na ₂ O + K ₂ O
%	62 - 67	19 - 25	2 - 9	1 - 5	0 - 3	0 - 1,5

III.3.6. Les expéditions

Les grains de ciment sont récupérés à la sortie du broyeur et expédiés vers des silos de stockage. Ces silos sont de forme cylindrique et de capacité pouvant aller jusqu'à 10.000 tonnes (figure III.9).



Figure III.9 : Les modes d'expédition du ciment.

III.4. Propriétés du ciment

III.4.1. Propriétés physiques

III.4.1.1. Finesse de mouture

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 méthode utilisée pour mesurer la surface spécifique du ciment est la méthode de Blaine (figure.III.10).

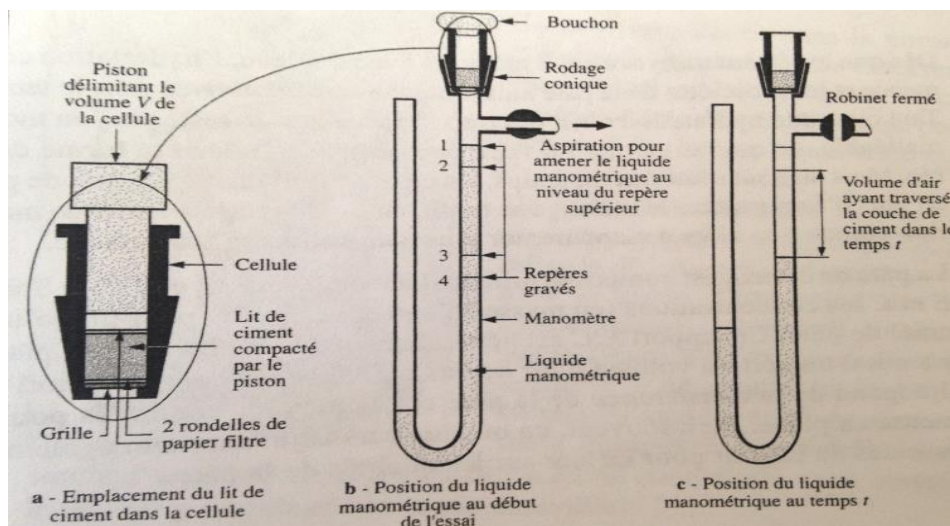


Figure III.10 : Mesurer de la surface spécifique du ciment par l'appareil de Blaine.

III.4.1.2. 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 "Vicat" pour mesurer cette consistance et selon la norme NF EN 196-3. La figure III.11 présente une photo de l'appareil de mesure de la consistance normale.

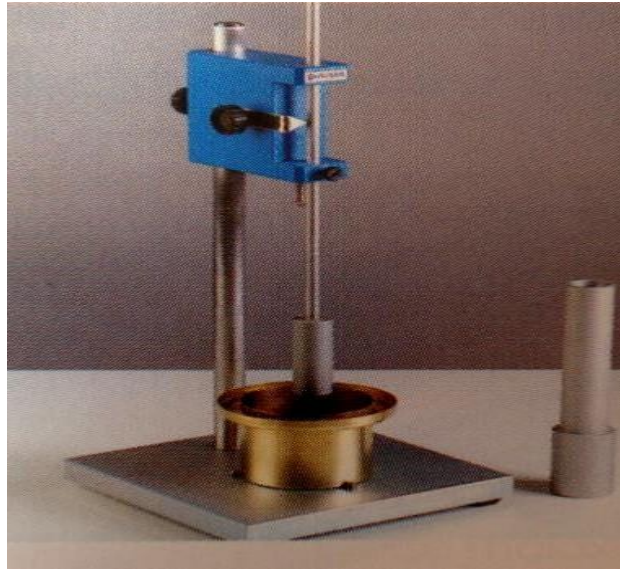


Figure III.11 : l'appareil de "Vicat" pour mesurer cette consistance.

III.4.1.3. La prise

C'est le terme employé pour décrire le raidissement de la pâte de ciment. La prise est définie comme étant le changement d'un état fluide à un état solide. Le début de prise correspond à l'augmentation brusque de la viscosité de la pâte de ciment et à une élévation de sa température. La fin de prise correspond à la transformation régulière et progressive de la pâte de ciment en un bloc rigide. Pour mesurer le temps de début et de fin de prise, on utilise généralement l'essai de "Vicat", NF EN 196-3. La figure III.12 illustre l'appareil et résume la méthode de détermination du temps de prise.

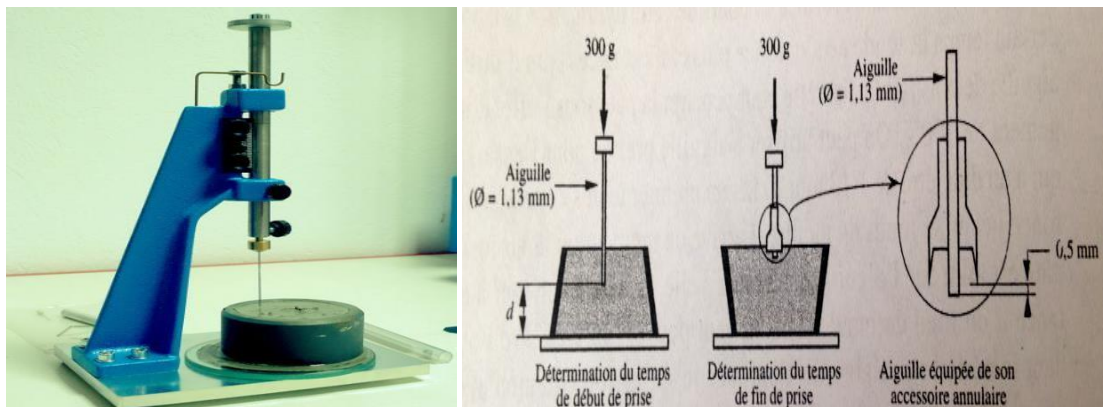


Figure III.12 : Mesurer du temps de prise du ciment par l'appareil de Vicat.

III.4.1.4. Retrait

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

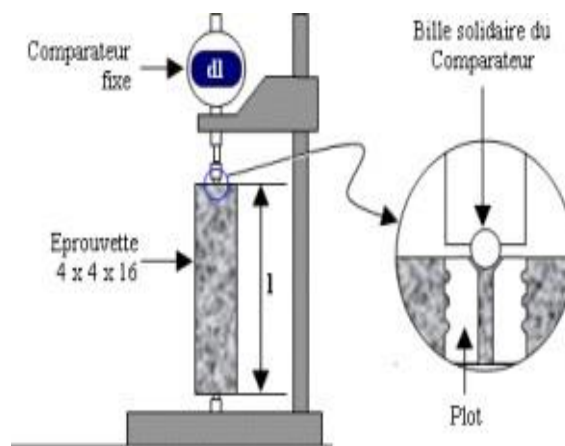


Figure III.13 : Essai de mesure de retrait d'une éprouvette en ciment.

III.4.1.5. Expansion

Les volumes des pâtes de ciment, les mortiers et les bétons gonflent en présence d'humidité ou d'eau. Les principales causes de l'expansion sont : - excès de gypse, - excès de la chaux libre CaO . - excès de magnésium libre MgO . L'expansion est mesurée selon NF EN 196-3, on utilise le même appareil que celui de retrait.

III.4.2. Propriétés mécaniques

Les résistances mécaniques, en traction et en compression des ciments, sont déterminées sur des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ cm en mortier normal à 28 jours d'âge. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Les figures III.14 (a) et III.14 (b) montrent l'évolution des résistances des différents produits d'hydratation du ciment.

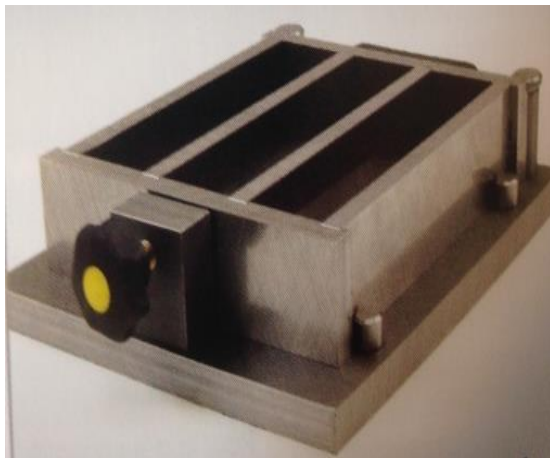


Figure III.13 (a) : moule prismatique 4x4x16 pour essais de compression.

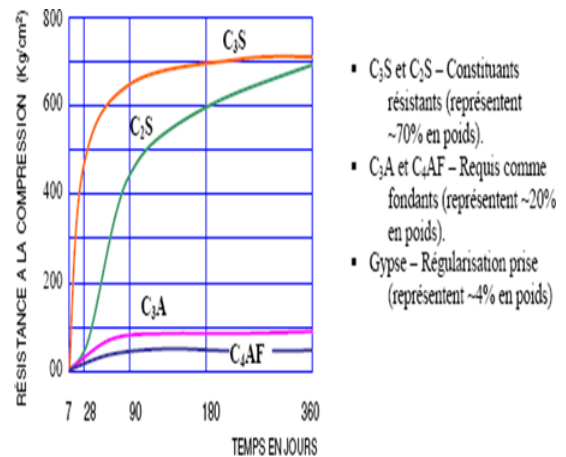


Figure III.13 (b) : L'évolution des résistances des différents produits d'hydratation du ciment.

III.5. Classification des ciments

Les normes NA 442 et EN 197-1 définissent cinq types de ciments. Ils sont classés en fonction de leur composition :

- CEM I : Ciment Portland artificiel,
- CEM II : Ciment portland composé,
- CEM III : Ciment de haut fourneau,
- CEM IV : Ciment pouzzolanique,
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres.

La composition des ciments est définie dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Types de ciments et leur composition.

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse)										Constituants secondaires
			Constituants principaux										
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné	Calcaire		
			K	S	D	Naturelle P	Naturelle calcinée Q	Silicieuse V	Calcique W	T	L	LL	
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	Ciment Portland composé	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →								—	0-5
		CEM II/B-M	65-79	← 21-35 →								—	0-5
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique c)	CEM IV/A	65-89	—	← 11-35 →					—	—	—	0-5
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 →					—	—	—	0-5
CEM V	Ciment composé c)	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →			—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →			—	—	—	—	0-5

III.5. Spécifications physiques et mécaniques

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 (R).

- Pour tous les types de ciments, la résistance à la compression, déterminée selon EN196- 1 doit satisfaire aux spécifications du tableau 3.3.

Tableau III.3 : Spécification physiques et mécaniques des ciments selon 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	---				

IV.1. Introduction

Le **mortier** est un matériau pouvant satisfaire à une variété d'exigences dans le domaine de la construction. Toutefois, il n'existe pas de mortier universel, convenant à toutes les situations. Le Concepteur ne pourra choisir le mélange convenant le mieux pour un projet donné que s'il a une bonne connaissance des matériaux qui entrent dans la composition du mortier et de leurs propriétés. La fonction principale d'un mortier est de liasonner les éléments de maçonnerie de manière à ce qu'ils constituent un seul bloc. Par ailleurs, le mortier sépare les éléments et remplit toutes les fentes et fissures en formant une surface de contact homogène. Le rejointoiement doit permettre de renforcer les propriétés structurales des éléments et en même temps empêcher la pénétration de la pluie. Ceci exige une adhérence complète. Si elle est réalisée, le mur aura une durabilité suffisante pour résister aux éléments.

IV.2. Composition

Par définition, les mortiers contiennent des liants, des granulats et de l'eau; éventuellement des adjuvants.

- **Liants** : Peut être du ciment portland, de la chaux ou du ciment de maçonnerie, ou un des divers mélanges de ces matériaux.
- **La chaux** : qui est le composant traditionnel du mortier, possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par temps froid et humide.
- **Le ciment de maçonnerie** : est un produit déposé contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air.
- **Les adjuvants** : donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment et chaux. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec en plus des adjuvants.
- **Granulats** : Le sable est le granulat le plus employé fréquemment. Il est inerte et sert tout d'abord à accroître la compacité. Ses limites granulométriques sont entre 0,080 mm et 4 mm.
- **Eau** : remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale

compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau devrait être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser.

• **Adjuvants** : sont employés pour les mortiers de maçonnerie et dans certains cas leur emploi est certainement avantageux. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé.

IV.3. Les différents types de mortiers

- Les mortiers de ciment : Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment insuffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m³ de sable.
- Les mortiers de chaux : Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.
- Les mortiers bâtards : Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

IV.4. Propriétés

D'après leurs propriétés, les mortiers se subdivisent en deux catégories: les mortiers plastiques et les mortiers durcis.

IV.4.1. Mortier plastique

La propriété la plus importante du mortier plastique est son ouvrabilité. On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie. En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant la plasticité, la compacité et la cohérence. L'ouvrabilité ne se mesure pas avec précision en laboratoire mais le maçon peut l'évaluer en observant le comportement du mortier lorsqu'il l'étale avec sa truelle. L'ouvrabilité est due à l'effet de (roulement à billes) résultant de la lubrification des granulats par le lait de ciment. Bien que la classe des granulats et la proportion des matériaux jouent un rôle

important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales du retrait et le maçon peut la contrôler à la mise en œuvre.

Une bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau sont essentiels à une qualité maximale du rejointoiement.

IV.4.1.1. Mesure de l'ouvrabilité du mortier

L'essai d'étalement permet de déterminer l'étalement des échantillons de mortiers destiné à la confection des éprouvettes de compression. L'essai d'étalement est réalisé sur une table mobile comportant un plateau plan relié par charnières à une base rigide. Un moule en forme de tronc de cône de diamètre à la base $D_0=10$ cm posé au centre du plateau (figure IV.1).



Figure IV.1 : Table à choc.

Le moule et le plateau sont préalablement huilés. Le cône est rempli par une quantité de mortier par couches successives, chaque couche est compactée par piquage à l'aide d'une tige. On remonte verticalement le moule sans mouvement latéral et on laisse le mortier s'étaler sur la plaque métallique. En utilisant la manivelle, on applique 15 cycles de chute. Chaque cycle dure entre 1 et 3 secondes. La hauteur de chute du plateau mobile est de 15 mm (figure IV.2). On mesure différents diamètres D_i qu'occupe le mortier étalé sur la table, et on calcule l'étalement comme suit :

$$E_{talement} = \frac{D_m - D_0}{D_0} \times 100$$

Avec :

D_m : le diamètre moyen du mortier étalé.

D_0 : le diamètre de la base du moule tronconique.



Figure IV.2 : Etape suivie pour calculer l'étalement d'un mortier.

Le tableau 3.5 montre l'ouvrabilité du mortier en fonction des résultats d'étalement trouvés à l'aide de la table à chocs.

Tableau IV.1 : Ouvrabilité du mortier

Ouvrabilité	Etalement à la table(%)
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal (plastique)	60 – 80
Mou (très plastique)	80 – 100
Très mou à liquide	100

IV.4.2. Mortier durci

Le mortier durci possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure. La solidité du rejointoiement entre le mortier et l'élément est très importante, ainsi que la bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau donnent au rejointoiement une force maximale et par le fait même ces qualités sont plus importantes que la résistance du mortier à la compression. La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration. Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées.

IV.5. Emplois des mortiers

- **Le hourdage de maçonnerie** : La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.



Figure IV.3 : Le hourdage de maçonnerie.

- **Les enduits** : Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.



Figure IV.4 : Les enduits.

- **Les chapes** : Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.



Figure IV.5 : Les chapes.

- **Les scellements et les calages** : La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

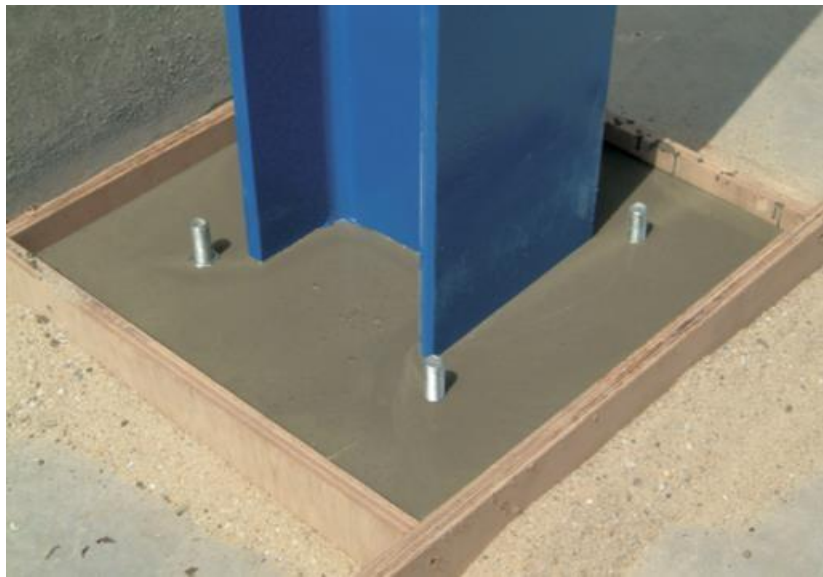


Figure IV.6 : Les scellements et les calages

1. S. ARNAUD (DLL), "Matériau béton Fabrication en centrale BPE Mise en œuvre". 19-20 janvier 2011.19.
2. K. Ezziane, "Etude des modifications physico-mécaniques apportées par les ajouts minéraux aux bétons", Thèse de Doctorat d'Etat, UST Oran (Algérie), 2006.172p.
3. G. Dreux, Festa J., Nouveau guide du béton et ses constituants, Edition Eyrolles, France, 2002, 409p.
4. T. Boubekour, "Evaluation des performances des ciments portland au calcaire", mémoire de Magister, Université de Chlef, 2009, 107 p.
5. A. Neville, M., Propriétés des bétons. Quatrième édition. Edition française par CRIB, Editions Eyrolles, 2000.
6. R. LANCHON. Cours de laboratoire 2. "GRANULATS BTEONS SOLS". 1988.
7. F. de LARRARD. Construire en Béton. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.2002.

Normalisation

NF EN 196-6, "Méthodes d'essais des ciments – partie 6 : détermination de la finesse", 1996, 17 p.

NF EN 196-3, "Méthodes d'essais – partie 3 : détermination du temps de prise et de stabilité", 1996, 13 p.

EN 197-1, "Ciment : Composition, spécifications et critères de conformité- partie1 : ciments courants", 1996, 27 pages.

NF EN 196-1, "Méthodes d'essais des ciments – partie 1 : Détermination de la résistance", 1996, 31 p.

ASTM C 618-94., ‘‘Standard Specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete’’, ASTM Standards in ACI 301 and 318, Publication SP-71, 1995, ACI, Farmington Hills, pp.238-240.

NA 442, ‘‘Liants hydrauliques – Ciments courants : Composition, spécifications et critère de conformité’’, IANOR, Alger, 2000, 30p.