



Département d'hydraulique

Polycopié pédagogique

Dossier numéro (à remplir par l'administration) :

Titre

Matériaux de construction

Cours destiné aux étudiants de

Troisième année licence hydraulique

Rédigé par

Dr. MOUSSAOUI Moufida

Avant-propos

Dans la présent polycopié intitulé «Matériaux de Construction », qui s'adresse aux étudiants de troisième année licence en hydraulique. Il est rédigé de manière simplifiée afin que l'étudiant puisse assimiler le contenu du cours et son application dans la vie courante.

Ce polycopié est divisé en quatre chapitres selon le programme du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Le contenu du premier chapitre concerne une Historique des matériaux de construction, classification des matériaux de construction, propriétés des matériaux de construction. Le chapitre suivant est basé sur la granularité, classification des granulats, caractéristiques des granulats, différents types de granulats. Au 3^{ème} chapitre on s'intéresse à la classification des liants, les liants aériens (chaux aérienne), les liants hydrauliques (les ciments portland), constituants principaux et additions.

Enfin, en 4^{ème} chapitre, on aborde la composition des mortiers, les différents types de mortiers (mortier de chaux, mortier de ciment), caractéristiques principales des mortiers.

TABLE DES MATIÈRES

Avant propos	02
Table des matières	03
Liste des figures	05
Liste des tableaux	07
Liste des symboles	08
Introduction	10
Chapitre 1 : Généralités	11
1.1 Historique des matériaux de construction	12
1.2 Classification des matériaux de construction	12
1.2.1 Classification scientifique	12
1.2.2 Classification pratique	13
1.3 Propriétés de matériaux de construction	13
1.3.1 Les propriétés physiques	13
1.3.2 Les propriétés mécaniques	16
1.4 Conclusion	17
Chapitre 2 : Les granulats	18
2.1 Granularité	19
2.2 Classification des granulats	20
2.3 Caractéristiques des granulats	20
2.3.1 Caractéristiques physiques	20
2.3.2 Caractéristiques Mécaniques	22
2.3.2.1 Résistance à la compression	22
2.3.2.2 Résistance à la traction	22
2.3.2.2.1 Module de déformation	23
2.3.3 Caractéristiques chimiques	24
2.3.3.1 Teneur en chlorures	24
2.3.3.2 Teneur en soufre et en sulfates	24
2.4 Différentes types de granulats	24
2.4.1 Granulats naturels	24
2.4.2 Granulats artificiels	25
2.4.2.1 Processus de fabrication	26
2.5 Conclusion	28
Chapitre 3 : Les liants	29
3.1 Classification	30
3.2 Les liants aériens	30
3.2.1 Les chaux aériennes	30
3.2.1.1 Classification de la chaux	32
3.2.1.2 Processus de fabrication de la chaux	32
3.2.1.3 Propriétés principales de la chaux	35
3.2.1.3.1 Prise des chaux hydrauliques	36
3.2.1.3.2 Domaine d'utilisation de la chaux	36
3.3 Les liants hydrauliques	37

3.3.1 Ciment portland	37
3.3. 1.1 Fabrication du ciment portland	38
3.3.1.2 Classification et types des ciments	41
3.3.1.2.1 Classification des ciments	41
3.3.1.2.2 Types du ciment	41
3.3.1.2.3 Domaine d'utilisation des différents ciments	42
3.3.1.2.4 Stockage et expédition du ciment	42
3.4 Constituants principaux et additions	43
3.4.1 Les constituants principaux de la chaux	43
3.4.2 Additions principales de la chaux	43
3.4.3 Constituants principaux du ciment	44
3.4.4 Additions principales du ciment	44
3.5 Conclusion	44
Chapitre 4 : Les mortiers	46
4.1 Composition	47
4.1.1 Les liants	47
4.1.2 Les sables	48
4.1.3 Les adjuvants	48
4.1.4 Les ajouts	49
4.2 Les différents types de mortiers	49
4.2.1 Les mortiers de chaux	49
4.2.2 Les mortiers de ciment	49
4.3 Caractéristiques principales	50
4.3.1 Ouvrabilité	50
4.3.2 Prise	51
4.3.3 Résistances mécaniques	52
4.3.4 Retraits et gonflements	53
4.3.5 Emplois des mortiers	54
4.3.5.1 Le hourdage de maçonnerie	54
4.3.5.2 Les enduits	54
4.3.5.3 Les chapes	55
4.3.5.4 Les scellements et les calages	55
4.4 Conclusion	56
Conclusion générale	57
Bibliographies	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Classification des matériaux	13
Figure 1.2 : La masse d'un corps par unité de volume apparent	14
Figure 1.3 : Un ensemble de grains dans un récipient de volume	14
Figure 1.4: Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau	14
Figure 1.5 : Volume unitaire	15
Figure 1.6 : Échantillon immergé dans l'eau	16
Figure 2.1 : Les différents types de granulats	19
Figure 2.2 : Une série de tamis	19
Figure 2.3 : Un matériau poreux	21
Figure 2.4 : Un essai de compression	22
Figure 2.5 : Des éprouvettes en acier	23
Figure 2.6 : La courbe (contrainte – déformation)	23
Figure 2.7 : Source des granulats roulés	24
Figure 2.8 : Source des granulats concassés	25
Figure 2.9 : Sous-produits industriels	25
Figure 2.10 : Les granulats ferreux	25
Figure 2.11 : Les matériaux de démolition issus des bâtiments	26
Figure 2.12 : Processus de fabrication des granulats	26
Figure 2.13 : Extraction à ciel ouvert en carrière	27
Figure 2.14 : Concassage des granulats à l'aide des concasseurs à mâchoires	27
Figure 2.15 : Le cribleur-laveur : (a) Cribleur rotatif ; (b) Cribleur vibrant	28
Figure 2.16 : Stockage des granulats	28
Figure 3.1: Calcination de la chaux	31
Figure 3.2 : Hydratation de la chaux	31
Figure 3.3 : Cycle de la chaux	32
Figure 3.4 : Processus de fabrication de la chaux	33
Figure 3.5 : Four droit	34
Figure 3.6 : Four rotatif à combustible liquide ou gazeux	35
Figure 3.7 : Enduit extérieur d'un mur	37
Figure 3.8 : Schéma de la fabrication du ciment Portland	37
Figure 3.9 : Extraction de la matière première	38
Figure 3.10 : Concassage primaire de la matière première	38
Figure 3.11 : Four rotatif	39
Figure 3.12 : Intérieur du four	39
Figure 3.13 : Broyeur rempli de boulets en acier et tapissé de plaques de blindage	40
Figure 3.14 : Type de circuit dans le broyeur	40
Figure 3.15 : Silos de stockage	43
Figure 3.16 : Ensacheuse rotative	43
Figure 4.1 : Le mortier de chaux	49
Figure 4.2 : Le mortier de ciment	49
Figure 4.3 : Courbe granulométrique du sable normalisé selon les normes AFNOR	50

Figure 4.4 : Table à secousses	51
Figure 4.6 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge	52
Figure 4.7 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier	52
Figure 4.8 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion	53
Figure 4.9 : Dispositif de rupture en compression	53
Figure 4.10 : Appareillage pour la mesure du retrait	54
Figure 4.11 : Assemblage des briques avec un mortier	54
Figure 4.12 : Application des enduits	55
Figure 4.13 : Le support d'un revêtement de sol	55
Figure 4.14 : Le calage d'un poteau en charpente métallique	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Schéma et méthode de détermination de la résistance à la compression	16
Tableau 1.2 : Schéma et méthode de détermination de la résistance à la flexion	17
Tableau 2.1 Montre les densités de quelques matériaux de construction	21
Tableau 3.1 : Classification de la chaux	32
Tableau 3.2 : Les classes de résistance de la chaux	36
Tableau 3.3 : Les classes de résistance du ciment	41
Tableau 3.4 : Liste des différents types de ciments courants normalisés par la norme NF 15-301	42
Tableau 3.5 : Domaine d'utilisation des différents ciments	42
Tableau 3.6 : Les constituants principaux de la chaux	43
Tableau 3.7 : Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker	44
Tableau 3.8 : Composition minéralogique du ciment	44
Tableau 4.1 : Ouvrabilité du mortier	51

LISTE DES SYMBOLES

γ_{ap}	La masse volumique apparente
M_s	La masse d'un corps sèche
V_{ap}	La volume apparent
M_s	La masse d'un corps sèche
V_{ap}	Le volume apparent
n	La porosité
C	La compacité
V_{vide}	Le volume des vides
V_{absolu}	Le volume absolu
V_{total}	Le volume total
V_{solide}	Le volume solide
M_{sec}	La masse sèche
M_{hum}	La masse humide
M_{sat}	La masse saturée
A_b	La capacité d'absorption d'eau massique
P	La force de pression
R	La résistance à la compression
a	La largeur
d	Le diamètre
l	La longueur
h	La hauteur
R_f	La résistance à la traction par flexion
S	La section
M_V	La masse volumique
m	La masse d'un échantillon du matériau
V	Le volume du même échantillon
N_1	Le niveau initial de l'eau
N_2	Le niveau final de l'eau
γ	Le poids volumique
g	L'accélération de gravité
d	La densité du matériau
m_s	La masse des grains solides d'un échantillon du matériau.
V_s	Le volume des grains solides du même échantillon
d_r	La densité relative
d_{eau}	La densité de l'eau
W	L'humidité du matériau
F_c	La force de compression maximale atteinte pendant l'essai.
A	L'aire de l'éprouvette normale à F
$\sigma_{rupture}$	La contrainte de rupture
F_t	La force de traction maximale atteinte pendant l'essai
σ	La contrainte
Δl	L'allongement de l'éprouvette sous de la force F
ε	Le coefficient de poisson
E	Le module de Young
S	Le soufre
SO_3	Les sulfates
$CaCO_3$	Calcaire
MgO	Oxyde de magnésium

CaO	Chaux vive
CO ₂	Gaz carbonique
Ca (OH) ₂	Chaux éteinte
i	Indice d'hydraulicité
C.A.E.B	Hydrate de chaux
XHA	Chaux hydraulique artificielle
Fe ₂ O ₃	L'Oxyde de fer
Al ₂ O ₃	L'oxyde d'aluminium
SiO ₂	L'oxyde de Silicate
XHN	La chaux hydraulique naturelle
3 CaO.SiO ₂	Silicate tricalcique
2 CaO.SiO ₂	Silicate bicalcique
3 CaO.Al ₂ O ₃	Aluminate tricalcique
4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Alumino ferrite tétracalcique
CEM I	Ciment portland
CEM II	Ciment portland composé
CEM III	Ciment de haut fourneau
CEM IV	Ciment pouzzolanique
CEM V	Ciment au laitier et aux cendres
E	L'ouvrabilité
D _r	Le diamètre final
D _i	Le diamètre initial.

INTRODUCTION

Les matériaux de construction sont des substances utilisées pour construire des structures telles que des maisons, des bâtiments, des ponts, etc. Ils peuvent être classés en différentes catégories, notamment les matériaux naturels tels que le bois, la pierre et l'argile, ainsi que les matériaux synthétiques tels que le béton, l'acier et le verre. Chaque matériau a ses propres caractéristiques et avantages, et le choix du matériau dépend souvent de facteurs tels que la durabilité, la résistance, l'esthétique et le coût. Les avancées technologiques ont également conduit au développement de nouveaux matériaux de construction plus durables et respectueux de l'environnement

Le cours matériaux de construction permet aux étudiants de choisir les bons matériaux de construction en fonction des exigences spécifiques du projet, du climat, du budget et de la durabilité souhaitée. Les avancées technologiques ont également permis le développement de nouveaux matériaux de construction plus durables, écologiques et économes en énergie. Ce cours est divisé en quatre chapitres selon le programme de troisième année LMD :

- Le premier chapitre concerne un historique des matériaux de construction, classification des matériaux de construction, propriétés des matériaux de construction
- Le deuxième chapitre est basé sur la granularité, classification des granulats, caractéristiques des granulats, différents types de granulats
- Au 3^{ème} chapitre on s'intéresse à l'étude des liants aériens (chaux aérienne) et les liants hydrauliques (les ciments portland) avec leurs constituants principaux et les différents types d'additions minérales.
- Au 4^{ème} chapitre, on aborde la composition des mortiers, les différents types de mortiers (mortier de chaux, mortier de ciment), caractéristiques principales des mortiers.

CHAPITRE 1: GÉNÉRALITÉS

1.1 Historique des matériaux de construction

Les matériaux de génie civil sont des solides utilisés non seulement pour construire des maisons, des ouvrages, ou encore aménager son environnement (équipement collectif, routes, ponts, aménagements urbains). Bien qu'un grand nombre de matériaux soit connu depuis fort longtemps, leur étude a débuté très tard, car l'homme a disposé rapidement d'une grande variété de substances pour tous ses besoins courants, sans avoir à entreprendre de recherches approfondies. Ainsi il n'a utilisé, au début, que la pierre, l'argile, la chaux, le plâtre et les matériaux biologiques naturels: bois, cuir, lin, etc.

L'un des grands tournants a sans doute été le moment où l'homme s'est rendu compte qu'il pouvait modifier la nature même des matériaux: par exemple, changer l'argile malléable en une pierre dure, par une cuisson à haute température.

L'ingénieur qui est chargé de concevoir, construire et maintenir un ouvrage doit savoir parfaitement les différentes propriétés des matériaux qui sont à sa disposition. Ceci lui permet de faire son choix pour obtenir des constructions rigides, efficaces, économiques et durables (Armand et Rafestin, 1999).

Traditionnellement, les matériaux ont été classés en métaux, céramiques, verres, textiles, polymères et matériaux composites, compte tenu à la fois de certaines propriétés caractéristiques, des méthodes d'obtention et de leur destination industrielle. Chacune de ces grandes divisions avait sa propre nomenclature, sa méthodologie, ses normes, de sorte que les comparaisons entre les divers matériaux étaient souvent difficiles. La science des matériaux, toute récente, vient unifier les propriétés de tous les matériaux.

Mais dans la construction, il est devenu courant de distinguer les matériaux selon des domaines d'emploi et des caractéristiques principales. On peut parler des matériaux de construction, de protection, de décoration, de réparation,.....

1.2 Classification des matériaux de construction

1.2.1 Classification scientifique

Dans la science des matériaux, selon la composition et la structure, les matériaux sont classés comme suit (Fig.1.1):

- Métaux et alliages ;
- Polymères ;
- Céramiques.

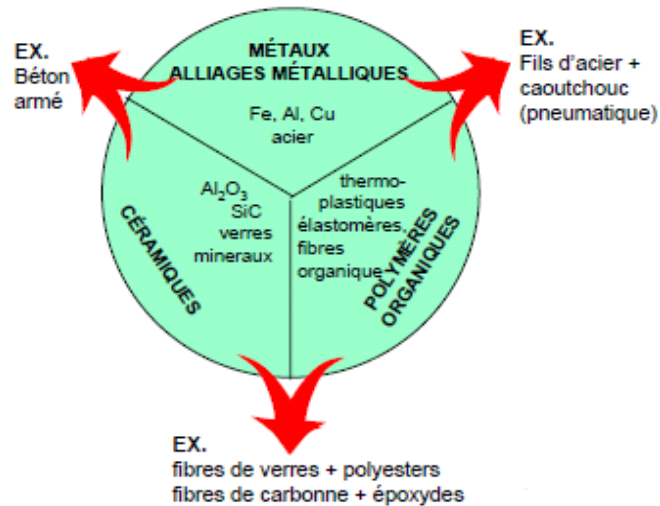


Figure 1.1: Classification des matériaux (Armand et Rafestin, 1999)

1.2.2 Classification pratique

Dans la construction, les matériaux sont classés selon le domaine d'emploi et selon leurs propriétés principales (Résistance, compacité,..) comme suit (Delisle et Alou ,1978):

a. Les matériaux de construction (ou de résistance) : matériaux qui ont la propriété de résister contre des sollicitations (forces) importantes (poids propre, surcharge, séisme, chaleur, ..) :

- Pierres, Ciments, bois, béton, métaux, terre cuite (Brique), etc.

b. Les matériaux de protection : matériaux qui ont la propriété d'enrober et de protéger les matériaux de construction principaux

1.3 Propriétés des matériaux de construction

Grandeurs physiques, chimiques ou mécaniques, propres au matériau. Elles sont déterminées expérimentalement (Delisle et Alou ,1978).

1.3.1 Les propriétés physiques

a. La masse volumique apparente

La masse d'un corps par unité de volume apparent, après séchage à 105 °C, notée γ_{ap} et exprimée en kg/m^3 (Fig.1.2).

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

γ_{ap} : Masse volumique apparente (kg/m^3) ;

M_s : Masse d'un corps sèche ;

V_{ap} : Volume apparent.

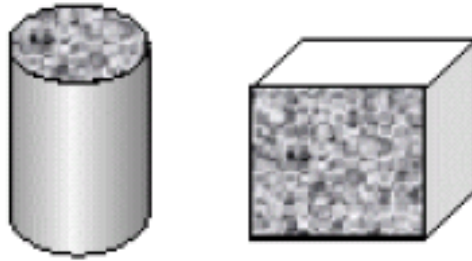


Figure 1.2 : La masse d'un corps par unité de volume apparent (Delisle et Alou ,1978)

Dans le cas d'un ensemble de grains, la détermination de la masse volumique apparente peut se faire en utilisant un récipient de volume connu (Fig.1.3).

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

γ_{ap} : Masse volumique apparente (kg/m^3) ;

M_s : Masse d'un corps sèche ;

V_{ap} : Volume apparent.

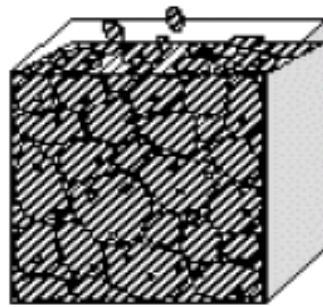


Figure 1.3 : Un ensemble de grains dans un récipient de volume (Delisle et Alou ,1978)

b. La masse volumique absolue

La masse d'un corps par unité de volume absolu de matière solide (porosité des grains exclus), après passage à l'étuve à $105\text{ }^\circ\text{C}$ (Fig.1.4), notée ρ ou γ et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3).

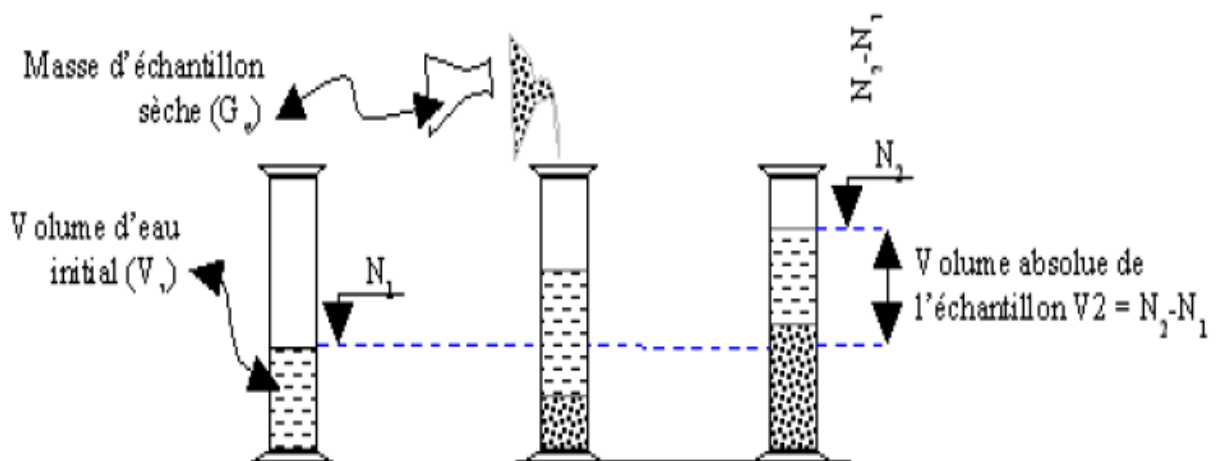


Figure 1.4: Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau (Delisle et Alou ,1978)

D'abord on remplit le tube gradué d'eau (N1), ensuite on verse l'échantillon sec dans le tube et le niveau de l'eau va augmenter (N2). (N2 - N1) est le volume absolu. La masse volumique absolue peut se calculer

$$: \gamma = \frac{M_s}{N_2 - N_1}$$

c. Porosité et compacité (Fig.1.5):

- La porosité « n » est le rapport du volume vide au volume total : $n = \frac{V_{vide}}{V_{total}} \times 100(100)$

- La compacité « C » est le rapport du volume solide au volume total : $C = \frac{V_{solide}}{V_{total}} \times 100(\%)$

$$n + C = 100\%$$

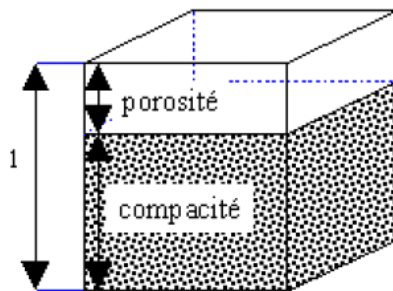


Figure 1.5 : Volume unitaire (Delisle et Alou ,1978)

d. Humidité du matériau

Indice important pour déterminer la teneur en eau réelle des matériaux au moment de son utilisation. Notée W (%). On peut la déterminer comme suit :

$$W = \frac{M_{hum} - M_{sec}}{M_{sec}} \times 100 (\%)$$

M_{sec} : masse sèche (séchage à 105°C) ;

M_{hum} : masse humide

Le degré de l'humidité des matériaux dépend de l'atmosphère de stockage (Température, humidité et vent) et de la porosité du matériau.

e. Capacité d'absorption d'eau massique

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 (Fig.1.6).

Essai :

- Sécher un échantillon dans une étuve à 105°C soit M_{sec} .
- Immerger l'échantillon dans l'eau jusqu'à saturation (après 24 H) soit M_{sat} .

L'absorption d'eau se calcul comme suit :

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

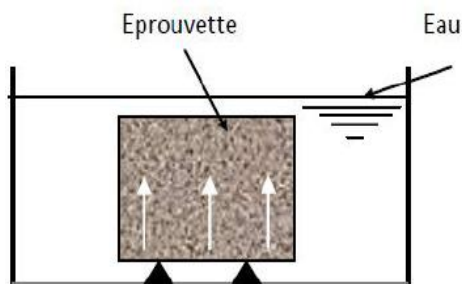


Figure 1.6 : Échantillon immergé dans l'eau (Delisle et Alou ,1978)

1.3.2 Les propriétés mécaniques

a. Résistances mécaniques des matériaux

En général la résistance du matériau est sa capacité à supporter les actions de forces externes (charges, conditions d'ambiance). Elle est définie par la contrainte maximale de rupture d'un matériau sous un chargement. On distingue principalement :

- Résistance en compression,
- Résistance en traction (directe ou par flexion),

Les tableaux 1.1 et 1.2 résument la forme et les dimensions d'éprouvettes ainsi qu'aux méthodes utilisées pour déterminer respectivement, la résistance à la compression et la résistance en traction des différents matériaux.

Tableau 1.1 : Schéma et méthode de détermination de la résistance à la compression (Dreux et Festa, 1998)

Echantillon	Schéma	Formule de calcul	Matériaux testés	Dimension des échantillons (cm)
Cube		$R = \frac{P}{a^2}$	Béton Mortier Roche	15x15x15 7,07x7,07x7,07 10x10x10 15x15x15 20x20x20
Cylindre		$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	Béton Mortier Roche	d=15 ; h=30 d=h= 5; 7; 10; 15
Prisme		$R_{gr} = \frac{P}{a^2}$	Béton Bois	a=10; 15; 20 h=40; 60; 80 a=2; h=3
Échantillons assemblés		$R = \frac{P}{S}$	Brique	a=12; b=12,3; h=14
Moitié d'échantillon de Mortier normalisé		$R = \frac{P}{S}$	Ciment	a=4; S=25 cm ²

Tableau 1.2 : Schéma et méthode de détermination de la résistance à la flexion (Dreux et Festa, 1998)

Echantillon	Schéma	Formule de calcul	Matériaux testés	Dimension des échantillons (cm)
Essai de traction par flexion				
Prismatique		$R_f = \frac{3Pl}{2bh^2}$	Ciment Brique Bois (4 pts)	4x4x16 15x15x15
Essai de résistance en traction pure				
Cylindrique Prismatique		$R_t = \frac{4P}{\pi d^2}$ $R_t = \frac{P}{a^2}$	Béton Armature	5x5x50 10x10x80 d ₀ =1; l ₀ =5; l≥10

Exercice d'application:

Déterminer la résistance à la traction par flexion d'un ciment portland à 28 jours coulé sur une éprouvette prismatique (4×4×16) cm. Sachant que les valeurs de l'effort affiché sur le comparateur de la presse et de 2000N.

- La résistance à la traction par flexion:

$$R_f = \frac{3Pl}{2bh^2} = \frac{3.2000.160}{2.40.40^2} = 7,50 \text{ MPa}$$

1.4 Conclusion

Les matériaux de construction jouent un rôle essentiel dans la conception et la durabilité des structures. Que ce soit le bois, le béton, l'acier ou d'autres matériaux, chacun présente des avantages et des inconvénients spécifiques. Il est important de prendre en compte les caractéristiques techniques, les performances environnementales et les coûts lors du choix des matériaux de construction. De plus, l'innovation continue dans ce domaine offre de nouvelles possibilités pour des constructions durables et éco-responsables. En fin de compte, la sélection judicieuse des matériaux de construction contribue à la création de bâtiments solides, sûrs et respectueux de l'environnement.

CHAPITRE 2: LES GRANULATS

2.1 Granularité

La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains contenus dans un granulat. Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons, cailloux ou graves suivant leur dimension comprise entre 0 et 80 mm (Fig.2.1). Produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches (Dreux et Festa, 1998). Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers.



Figure 2.1 : Les différents types de granulats (Dreux et Festa, 1998)

La granularité est déterminée par tamisage, avec une série de tamis, de dimensions d'ouvertures décroissantes (Fig.2.2) et exprime le pourcentage massique de granulats passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis. La proportion de particules retenues par un tamis s'appelle le refus, son complément le passant. Elle est représentée par une courbe granulométrique représentant les dimensions de tamis en abscisses et en ordonnées les pourcentages de passants cumulés à travers les tamis successifs (en poids de grains) (Venuat, 1989)



Figure 2.2 : Une série de tamis (Venuat, 1989)

2.2 Classification des granulats

Un granulat est caractérisé par sa classe d/D; d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. La norme NFP18 101 indique la terminologie des granulats selon leurs dimensions (Venuat, 1989):

- * Fines (fillers): $\leq 0.08 \text{ mm}$
- * Sables: $d < 1 \text{ mm}$ et $0.08 < D < 6.3 \text{ mm}$
- * Gravillons: $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D < 31.5 \text{ mm}$
- * Cailloux: $d \geq 20 \text{ mm}$ et $D < 80 \text{ mm}$
- * Graves: $6.3 \text{ mm} < D < 80 \text{ mm}$

2.3 Caractéristiques des granulats

Avant d'utiliser un matériau pour la construction il est important de connaître ces caractéristiques afin prévenir son comportement (Renaud et Letertre, 1995). Ces caractéristiques sont de trois types:

- a) **Caractéristiques physiques** : masse ou poids volumique, densité, porosité, perméabilité aux liquides, perméabilité aux rayonnements radioactifs, isolation phonique et thermique,...etc.
- b) **Caractéristiques mécaniques** : résistance à la compression, à la traction, aux chocs, à l'usure (mécanique et par érosion), résistance à l'effet cyclique gel – dégel...etc.
- c) **Caractéristiques chimiques** : stabilités en présence de certains produits et matières chimiques ; acides, bases, solutions salines, eau,...etc.

On discutera dans ce qui suit quelques caractéristiques utilisées largement en génie civil.

2.3.1 Caractéristiques physiques

a) **Masse volumique** : $M_v = \rho = \frac{m}{V}$

m : masse d'un échantillon du matériau.

V : volume du même échantillon (pores compris)

Unités de la masse volumique : (unité de masse / unité de volume) ; kg/m^3 , t/m^3 ,...etc.

b) **Poids volumique** : $\gamma = \frac{m \cdot g}{V}$

g : accélération de gravité.

V : volume du même échantillon (pores compris)

Unités du poids volumique : (unité de force / unité de volume) ; N/m^3 , kN/m^3 , kgf/m^3 , tf/m^3 ...etc.

c) **Densité** : pour les matériaux granulaires (formé de grains), il est particulièrement intéressant de définir la masse volumique des grains solides appelée souvent densité.

Elle est notée : $d = \frac{m_s}{V_s}$

m_s : masse des grains solides d'un échantillon du matériau.

V_s : volume des grains solides du même échantillon

Exercice d'application :

Calculer la densité d'un spécimen d'un sol possède les caractéristiques physiques suivantes :

$$m_s = 2290 \text{ g}$$

$$v_s = 1.15.10^{-3} \text{ m}^3$$

$$d = \frac{2290.10^{-3}}{1,15.10^{-3}} = 1,09 \text{ t/m}^3$$

d) Densité relative : c'est la densité du matériau rapportée à celle de l'eau (voir tableau 2.1). Elle est notée :

$$d_r = \frac{d}{d_{\text{eau}}}$$

d_{eau} : densité de l'eau.

$$d_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

d : densité du matériau (en même unité)

Tableau 2.1: montre les densités de quelques matériaux de construction [06]

Matériaux	Densité (kg/m ³)	Densité relative
Acier	7800 à 7900	7,8 à 7,9
Calcaire	2400 à 2600	2,4 à 2,6
Bois	<1000 à 1600	< 1 à 1,6
Ciment	2900 à 3100	2,9 à 3,1
Béton	2200 à 2500	2,2 à 2,5

Pour le béton armé on prend généralement (sauf indication contraire) une densité de 2500kg/m³.

e) Porosité : La porosité dans un matériau (Fig.2.3) est définie par :

$$n = V_v / V_{\text{tot}}$$

Où :

V_{tot} : volume total d'un échantillon

V_v : volume des vides à l'intérieur de l'échantillon

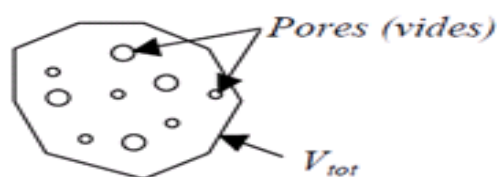


Figure 2.3 : Un matériau poreux (Renaud et Letertre, 1995)

2.3.2 Caractéristiques Mécaniques

- Les matériaux composant une construction peuvent être sollicités par différents efforts internes ; compression, traction, flexion...etc.
- Les propriétés mécaniques permettent de caractériser le comportement du matériau (ou de la construction) sous l'effet de ces sollicitations (efforts internes).
- Les matériaux pierreux (pierres et bétons) résistent bien à la compression mais beaucoup moins à la traction.
- Les métaux résistent bien à la traction et à la compression.

2.3.2.1 Résistance à la compression

C'est la contrainte de rupture du matériau sous l'effet d'une force de compression (Laquerbe, 1974). Elle est mesurée par écrasement d'une éprouvette cubique ou cylindrique (normalisée) entre deux plateaux d'une presse (Fig.2.4).

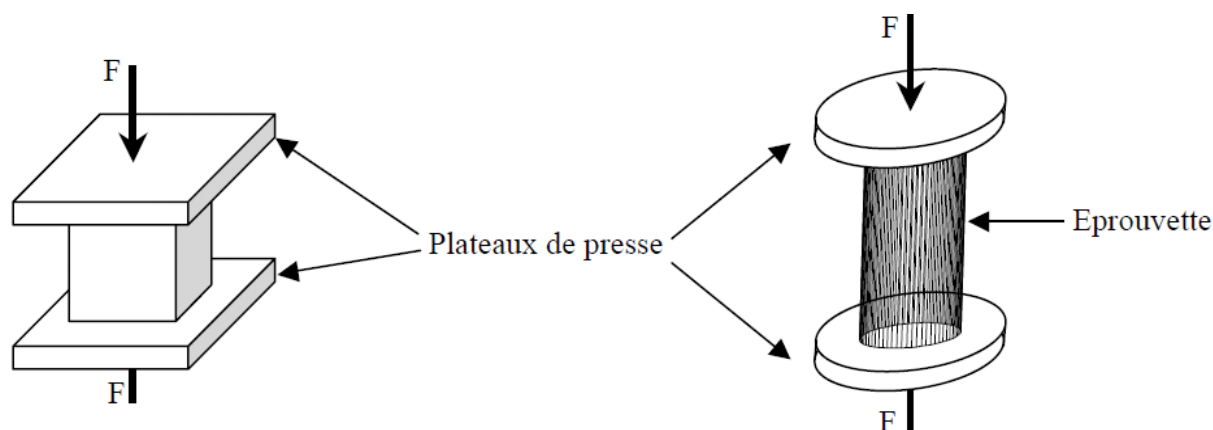


Figure 2.4 : Un essai de compression (Laquerbe, 1974)

Contrainte de rupture :

$$\sigma_{rupture} = \frac{F_c}{A}$$

F_c : force de compression maximale atteinte pendant l'essai.

A : aire de l'éprouvette normale à F

Les dimensions des éprouvettes sont choisies en fonction du degré d'homogénéité du matériau, pour les matériaux homogènes on utilise des éprouvettes de petites dimensions, pour les matériaux moins homogènes on utilise des éprouvettes plus grandes. Pour le béton on utilise les éprouvettes normalisées de forme cylindriques ; 16 cm de diamètre, 32 cm de hauteur.

2.3.2.2 Résistance à la traction

Mesurée pour les métaux et les bois essentiellement (Laquerbe, 1974). Pour l'acier on utilise des éprouvettes sous forme de tiges rondes ou de bandes (Fig.2.5).

Contrainte de rupture :

$$\sigma_{rupture} = \frac{F_t}{A}$$

F_t : force de traction maximale atteinte pendant l'essai.

A : aire de l'éprouvette normale à F



Figure 2.5 : Des éprouvettes en acier (Laquerbe, 1974)

2.3.2.2.1 Module de déformation

Prenant comme exemple une courbe (contrainte – déformation) ressortie d'un essai de traction sur une éprouvette d'acier (Laquerbe, 1974). Pour cette courbe, trois phases de déformation peuvent être distinguées (Fig.2.6):

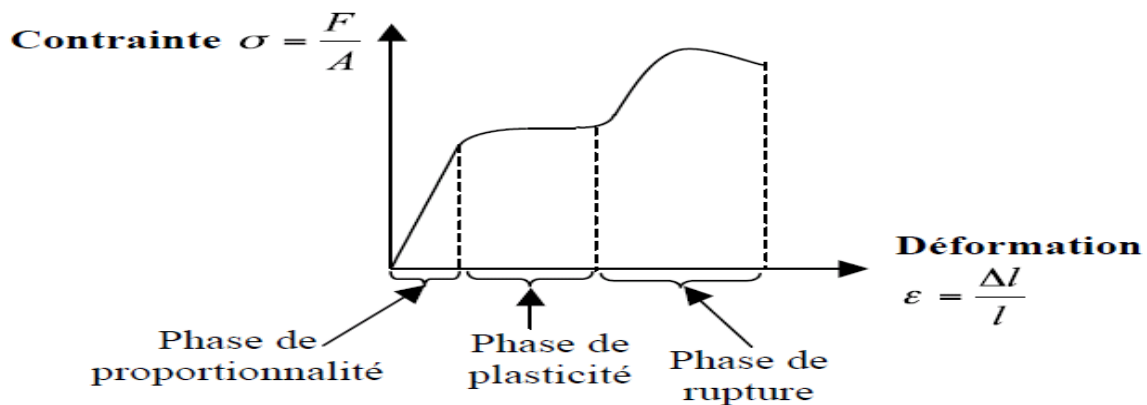


Figure 2.6 : La courbe (contrainte – déformation) (Laquerbe, 1974)

F : force appliquée

A : section transversale de l'éprouvette.

l : longueur initiale de l'éprouvette.

Δl : allongement de l'éprouvette sous de la force F .

1) **Phase de proportionnalité** : déplacement proportionnel à la force appliquée, dite aussi phase de déformation élastique. L'**élasticité** est la propriété de rétablir les dimensions initiales après l'enlèvement de la charge.

2) **Phase de plasticité** : phase de déformation plastique. La plasticité est la propriété de se déformer sans se fissurer et de garder cette forme après l'enlèvement de la charge.

3) **Phase de rupture** : développement de striction puis rupture.

4) **Module de déformation** : La phase proportionnalité peut être caractérisée par un coefficient de proportionnalité, il reliant la déformation à la contrainte appliquée il est dit : Module de déformation (ou

Module de Young) :
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

2.3.3 Caractéristiques chimiques

2.3.3.1 Teneur en chlorures

Les chlorures modifient la vitesse d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée (Laquerbe, 1974).

2.3.3.2 Teneur en soufre et en sulfates

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total (S) n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO₃) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si (S) est supérieure à 0,08 %.

Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. Les sulfates peuvent perturber la prise et les actions des adjuvants d'où la nécessité de limiter leur teneur dans le béton (Laquerbe, 1974)

2.4 Différentes types de granulats

2.4.1 Granulats naturels

a) **Granulats roulés** : Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel. Ainsi ils se sont formé des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes (Dreux et Festa, 1998).

Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature (Fig.2.7):

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de mer.
- Les granulats de dunes.



Figure 2.7 : Source des granulats roulés (Dreux et Festa, 1998)

b) Granulats concassés (de carrières) : ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arrêtes vives (Fig.2.8).



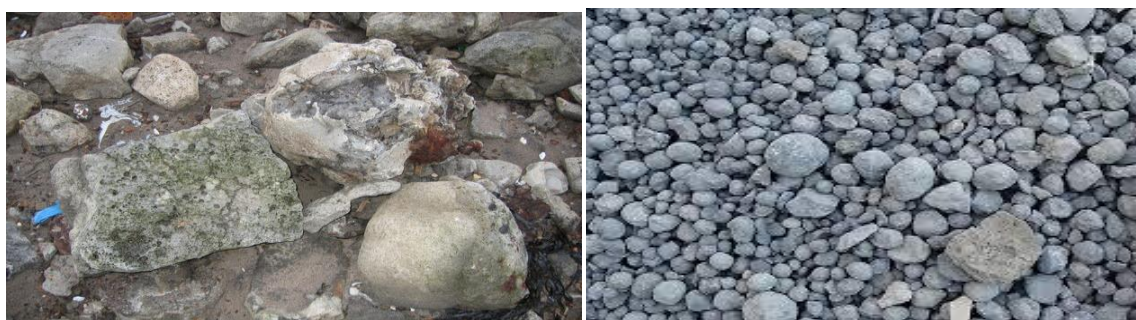
Figure 2.8 : Source des granulats concassés (Dreux et Festa, 1998)

2.4.2 Granulats artificiels

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau). Les granulats artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques (Vimane, 2006).

a- Sous-produits industriels

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau (Fig.2.9).



(a) Le laitier cristallisé concassé

(b) Le laitier granulé de haut fourneau

Figure 2.9 : Sous-produits industriels (Vimane, 2006)

b- Granulats à hautes caractéristiques

Il s'agit de granulats élaborés industriellement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux) (Fig.2.10).



Figure 2.10 : Les granulats ferreux (Vimane, 2006)

c- Granulats recyclés

Depuis quelques années, on produit des granulats de recyclage en concassant des matériaux de démolition issus des bâtiments (Fig.2.11) ou des chaussées (bétons, pierre de taille...)



Figure 2.11 : Les matériaux de démolition issus des bâtiments (Vimane, 2006)

. 2.4.2.1 Processus de fabrication

Les fabrications des granulats se fait selon le processus suivant (Fig.2.12):

- Extraction du matériau par abatage à l'explosif (roche dure), pelle mécanique (roche moins dure) ou dragage en site aquatique (granulats alluvionnaires).
- Concassage.
- Criblage sur tamis (granulats concassés), ou sous l'eau (granulats alluvionnaires).
- Stockage à l'air libre ou en silos pour être expédier.

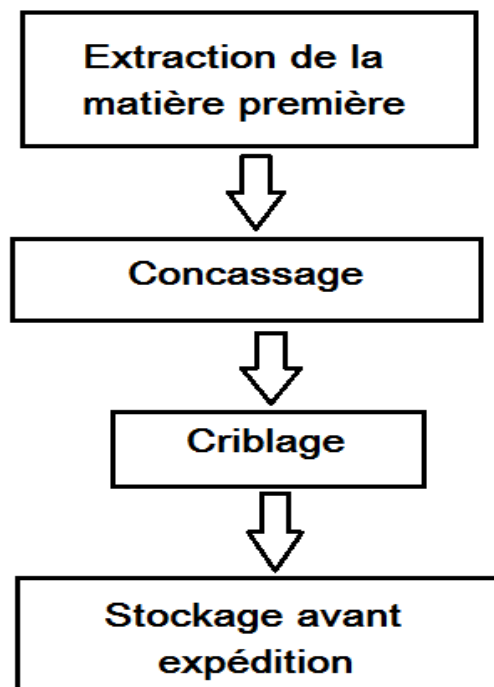


Figure 2.12 : Processus de fabrication des granulats (Dupain et al, 2004)

a- Extraction

Abattage à l'explosif pour les roches dures (Fig.2.13), et par pelle mécanique pour les roches moins dures (granulats concassés), et par dragage en site aquatique (granulats alluvionnaires) (Dupain et al, 2004)

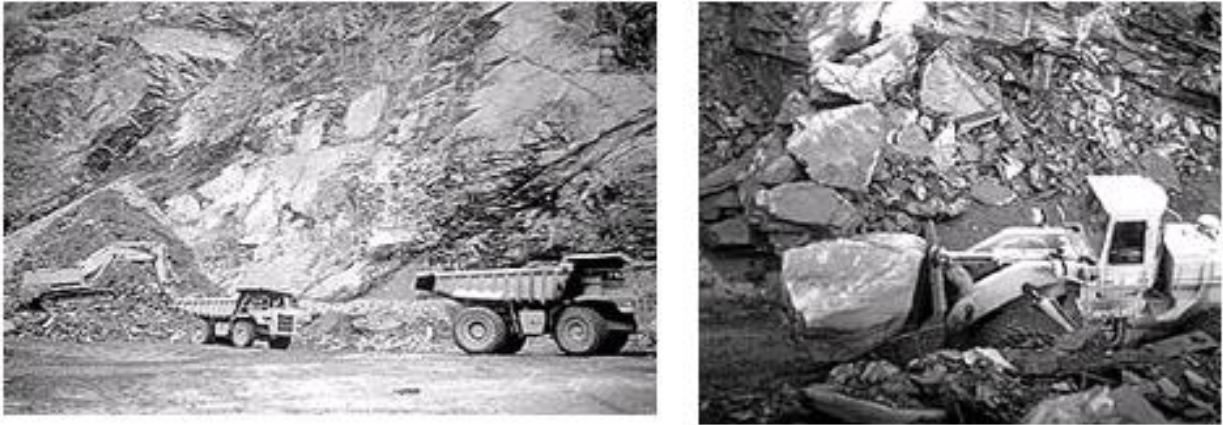


Figure 2.13 : Extraction à ciel ouvert en carrière (Dupain et al, 2004)

b- Concassage

Opération primordiale (granulats concassés), et moins intéressante (granulats alluvionnaires). Le concassage (Fig.2.14) se fait à l'aide des concasseurs à mâchoires, qui sont des concasseurs primaires à simple effet, munis d'un système oscillant. Débit suivant le matériau : jusqu'à 15 tonnes/h (Dupain et al, 2004)



Figure 2.14 : Concassage des granulats à l'aide des concasseurs à mâchoires (Dupain et al, 2004)

c- Criblage

Il se fait sur tamis (granulats concassés), mais il s'effectue sous l'eau (granulats alluvionnaires) à partir des cribbleurs laveur. Le cribleur-laveur (Fig.2.15) sépare les plus gros éléments du reste de la roche. Ces éléments les plus gros vont être traités à part car ils sont trop gros pour être traités dans l'usine (Dupain et al, 2004)



a) Cribleur rotatif

b) Cribleur vibrant

Figure 2.15 : Le cribleur-laveur : (a) Cribleur rotatif ; (b) Cribleur vibrant (Dupain et al, 2004)

d- Stockage

Les différents types des granulats sont stockés dans des silos ou à l'air libre (Fig.2.16).



(a) Stockage à l'air libre

(b) silos pour stockage

Figure 2.16 : Stockage des granulats (Dupain et al, 2004)

2.5 Conclusion

Les granulats offrent de nombreux avantages, notamment leur résistance, leur durabilité et leur disponibilité abondante. Ils contribuent à la solidité et à la stabilité des structures, tout en permettant une meilleure gestion des ressources naturelles. Cependant, il est important de prendre en compte les aspects environnementaux liés à l'extraction et à l'utilisation des granulats. Des mesures doivent être prises pour minimiser les impacts négatifs sur les écosystèmes locaux, la biodiversité et la qualité de l'eau. Les granulats sont des matériaux essentiels dans de nombreux domaines de l'industrie, mais il est crucial de les utiliser de manière responsable et durable afin de préserver notre environnement pour les générations futures.

CHAPITRE 3: LES LIANTS

3.1 Classification

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 sorte de 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 (Defossé, 2004). 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 aérienne,...).
- **Liants hydrauliques** qui durcissent et conservent leurs propriétés mécaniques non seulement à l'air mais aussi dans l'eau (ex: ciment Portland,...)

3.2 Les liants aériens

Les premières traces de la fabrication des liants aériens tels que la chaux remontent à la maîtrise de la pierre. Elle était utilisée comme liant dans les constructions. Toutes les civilisations connaissent l'utilisation de liants à bâtir (chaux ou plâtre), mais ce sont les romains qui, en réussissant à améliorer la qualité de leur mortier de chaux et en faisant leur matériau de construction principal, ont inventé l'architecture moderne (Defossé, 2004). A cette même époque, les civilisations méditerranéennes emploient aussi la chaux dans les enduits, décorations et peintures, ...

3.2.1 Les chaux aériennes

La prise s'effectue seulement en présence du gaz carbonique de l'air (d'où la lenteur de la prise et la possibilité de conservation de grandes quantités de chaux éteinte).

Les chaux aériennes se distinguent elles-mêmes en:

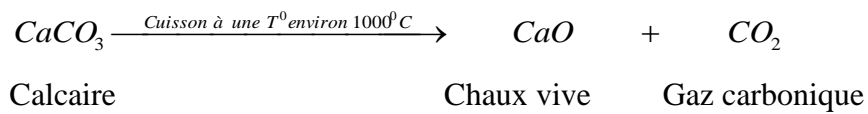
- **Chaux grasse** : qui est du calcaire pur, ou contient 0,1 à 1 % d'argile
- **Chaux maigre** : qui contient 2 à 8 % d'argile.

On distingue trois types de chaux aériennes selon le pourcentage d'additions de calcaire ou d'oxyde de magnésium.

- **Chaux calcique** : Chaux fabriquée à partir d'un calcaire CaCO_3 pur ou contenant moins de 5% d'oxyde de magnésium MgO .
- **Chaux magnésienne** : Chaux fabriquée à partir d'un calcaire CaCO_3 contenant de 5% à 34% d'oxyde de magnésium.
- **Chaux dolomitique** : Chaux contenant de l'oxyde de calcium et de 34% à 41% d'oxyde de magnésium.

Les chaux aériennes résultent de la cuisson de roches calcaires à une température environ 1000°C (Fig.3.1). Les roches calcaires naturelles contiennent souvent des impuretés en particulier argileuses,

selon le degré de pureté des calcaires utilisés on peut avoir de la chaux aérienne ou hydraulique. Elle s'obtient à partir de roches calcaires contenant au plus 10% d'impuretés argileuses.



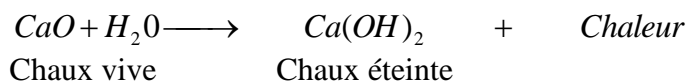
(a) Pierres calcaires



(b) Morceaux de chaux vive

Figure 3.1: Calcination de la chaux (Defossé, 2004)

- **La chaux vive (Oxyde de Calcium)** : Réagit au contact de l'eau avec un fort dégagement de chaleur puis se transforme en une poudre blanche appelée **chaux éteinte** (Fig.3.2).



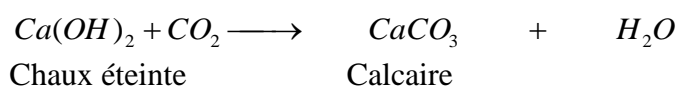
(a) Morceaux de chaux vive



(b) Poudre de chaux éteinte

Figure 3.2 : Hydratation de la chaux (Defossé, 2004)

- **Chaux éteinte** : En présence de gaz carbonique, la chaux éteinte peut faire une carbonatation et redevenir calcaire.



Ainsi la chaux ne peut durcir qu'en contact avec l'air (gaz carbonique) (Fig.3.3).

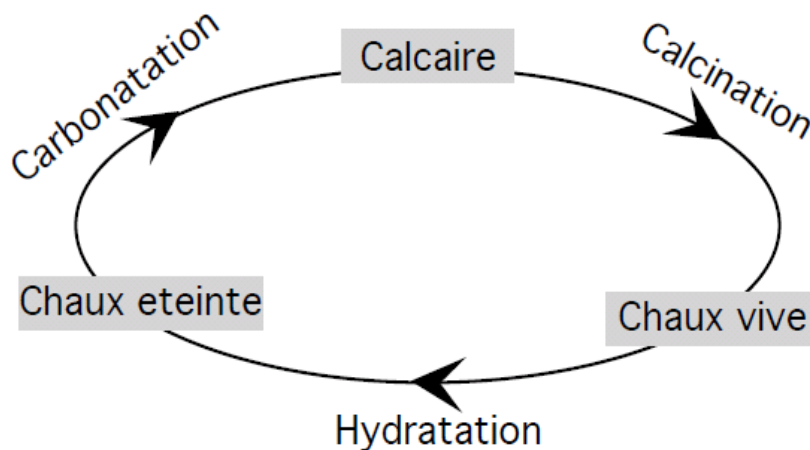


Figure 3.3 : Cycle de la chaux (Defossé, 2004)

3.2.1.1 Classification de la chaux

On avait observé au 17^e et au 18^e siècles, sans pouvoir l'expliquer, que certaines chaux dites "maigres" obtenues à partir de calcaires impurs, résistaient mieux que les chaux grasses provenant de calcaires trop purs (et qu'elles pouvaient même légèrement durcir sous l'eau). Louis Vicat, grâce à des recherches commencées en 1812, montra que pour obtenir des chaux hydrauliques, il fallait que la matière première utilisée contienne une certaine proportion d'argile. On peut classer les chaux, comme l'avait proposé Vicat grâce à un indice d'hydraulicité 'i' qui est donné par le rapport des éléments les plus acides aux éléments les plus basiques. Suivant le tableau 3.1 les valeurs de i, les chaux sont plus ou moins hydrauliques (Defossé, 2004)

$$i = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

Tableau 3.1 : Classification de la chaux (Defossé, 2004)

Type de chaux	% D'argile	" i "	Durée de prise sous l'eau
grasse	0	0 à 0,1	6 moins
faiblement hydraulique	5-8	0,10 à 0,16	15 à 30 jours
moyennement hydraulique	8-15	0,16 à 0,30	10 à 15 jours
hydraulique	15-20	0,30 à 0,40	24 jours
éminemment hydraulique	20-30	0,40 à 0,50	Inférieure à 2 jours

3.2.1.2 Processus de fabrication de la chaux

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 l'extraction de la roche, les blocs ainsi obtenus sont charriés par des pelles mécaniques et déposés dans

des camions chargeurs (Defossé, 2004). Ils sont acheminés vers les ateliers de préparation, où débute leur transformation (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 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 (Defossé, 2004).

c. Cuisson ou calcination

Aujourd'hui deux types de fours sont employés dans l'industrie pour la cuisson du calcaire (Fig.3.4).

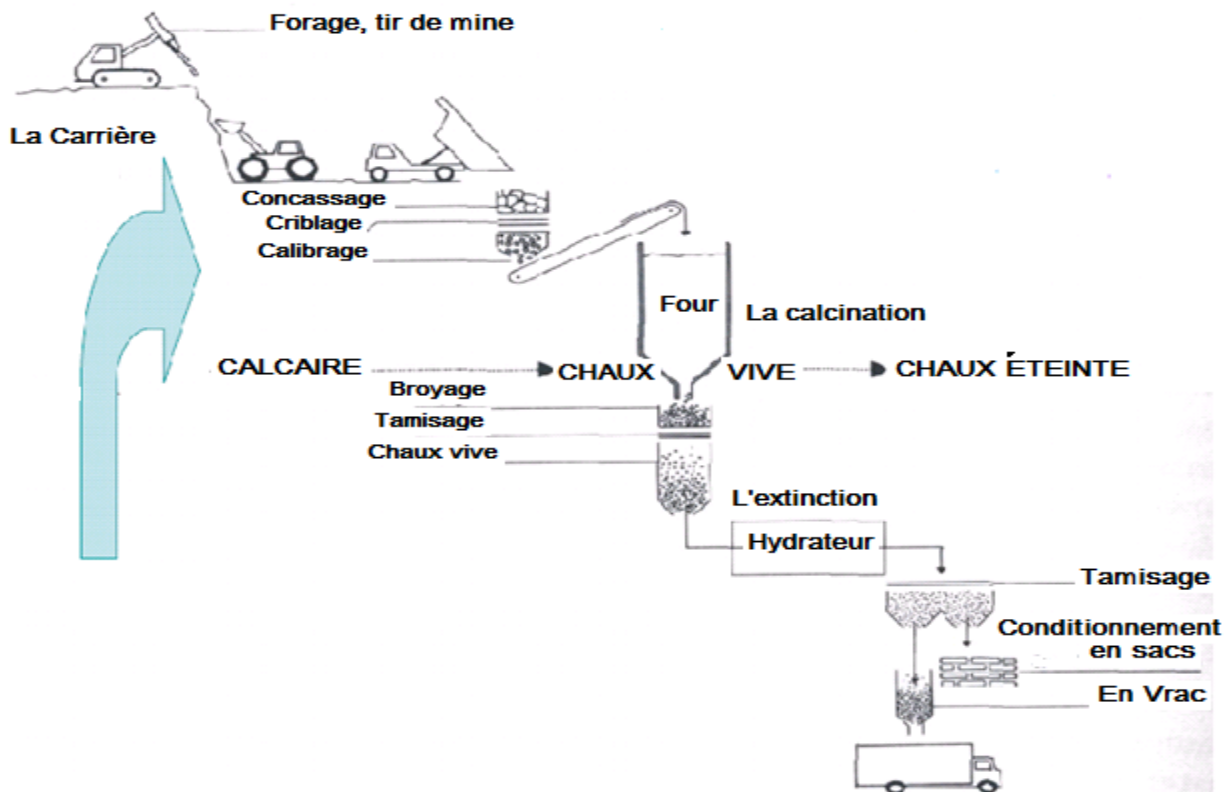
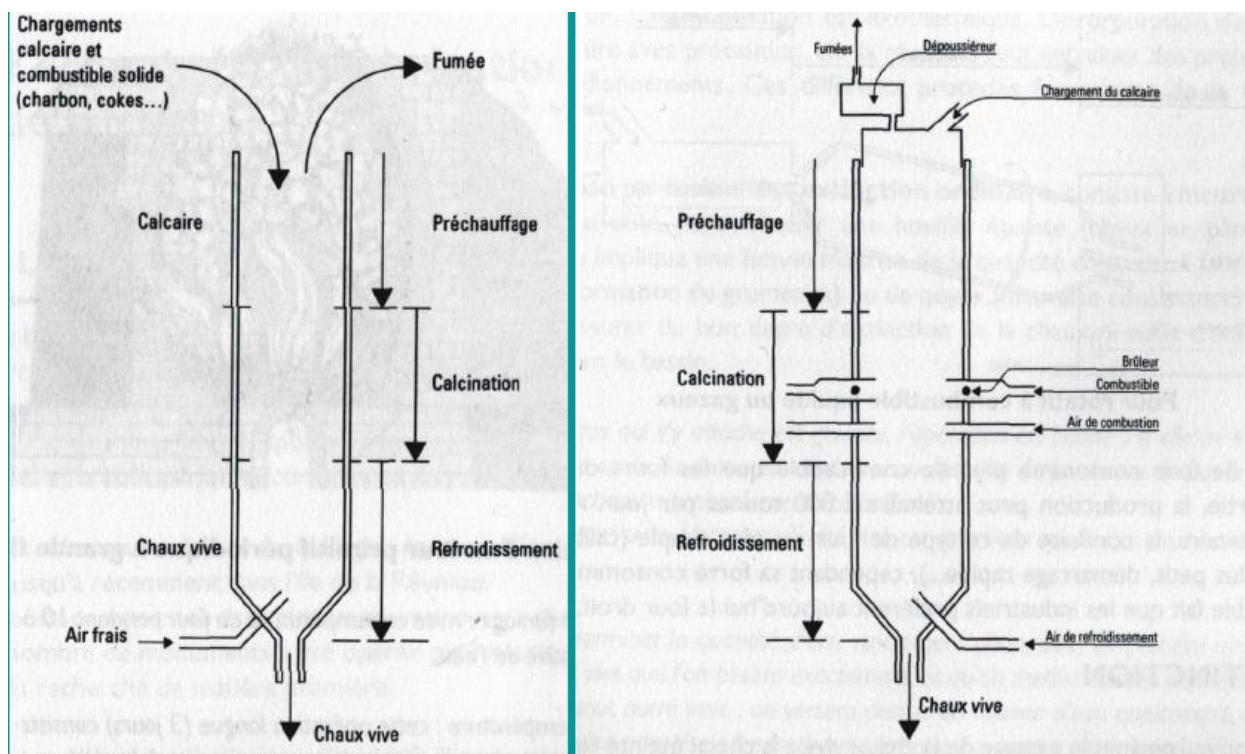


Figure 3.4 : Processus de fabrication de la chaux (Defossé, 2004)

Le 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 la corrosion. 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. On distingue, en effet, les fours droits anciens, utilisant des combustibles solides (coke métallurgique, charbons,...). Ils consomment environ 150 kg de charbon par tonne de chaux et ont une production assez faible: quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes par jour. Elle est comprise entre 1/4 et 1/3 de son volume intérieur (Fig.3.5).

Les fours droits modernes, utilisent des combustibles d'origines végétales (pépins de raisin...), le gaz. Leur capacité de production, nettement plus importante, est de 150 à 500 tonnes par jour. L'alimentation en calcaire se fait par le haut du four. Le choix d'un bon calibrage des pierres permet une bonne circulation des flammes et une répartition homogène de la température (Defossé, 2004)



(a) Four droit à combustible solide

(b) Four droit annulaire à combustible
Liquide ou gazeux

Figure 3.5 : Four droit (Defossé, 2004)

Le four rotatif (Fig.3.6) possède les caractéristiques de ceux utilisés dans l'industrie cimentière. 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. Le four de type horizontal consomme plus de combustible que les fours droits. En contrepartie, la production peut atteindre 1000 tonnes par jour. Avantage supplémentaire, la conduite de ce type de four est plus souple (calibrage de pierre plus petit, démarrage rapide, ...), cependant sa forte consommation en combustible fait que les industriels préfèrent aujourd'hui le four droit (Defossé, 2004).

La cuisson s'effectue en général dans des fours verticaux à marche continue, dans lesquels un mélange intime de pierre et de charbon est introduit à la partie supérieure par couches alternées. La pierre descend lentement, en traversant d'abord une zone de préchauffage, provoquant l'évaporation de l'eau libre et la déshydratation des marnes (vers 200°C). Elle traverse ensuite une zone de calcination où elle est décarbonatée (à partir de 900 °C). La zone de cuisson proprement dite, où se forment les silicates et

aluminates de chaux, se situe à une température variant entre 1000 et 1200 °C selon la qualité de chaux recherchée (Defossé, 2004).

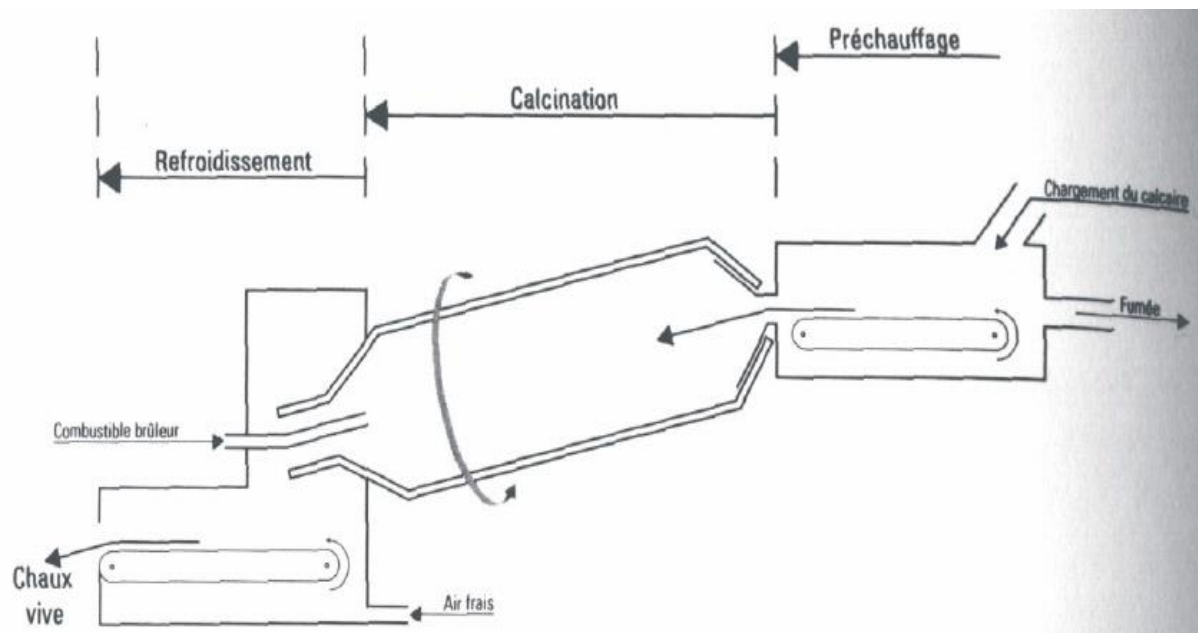


Figure 3.6 : Four rotatif à combustible liquide ou gazeux (Defossé, 2004)

c. Extinction : La chaux vive recueillie à la sortie du four passe alors par un traitement destiné à éteindre complètement la chaux libre tout en respectant les silicates et aluminates qui lui donnent son caractère hydraulique. En fait, ces silicates et aluminates fixent d'abord de l'eau, puis la perdent au profit de la chaux restant à éteindre. L'action d'extinction se fait suivant deux techniques (Defossé, 2004) :

-**Par immersion** : La chaux est mise dans des paniers dans l'eau pendant quelques secondes. Ce procédé est identique à celui utilisé pour l'extinction de la chaux grasse.

- **Par aspersion** : La chaux est étalée en couches de 15 à 20 cm. On l'arrose légèrement puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière à ce que toute la masse soit humectée.

La quantité d'eau employée se détermine expérimentalement (15 à 20% du poids de chaux). On relève ensuite la chaux en tas et on la laisse ainsi jusqu'à l'extinction complète (env. 2 semaines); la fin de l'opération étant marquée par la transformation du produit en poudre.

Dans certains cas d'extinction difficile, on utilise un extincteur rotatif en tôle qui reçoit intérieurement la quantité nécessaire à l'opération. Après extinction, la chaux est stockée en silo.

3.2.1.3 Propriétés principales de la chaux

Les propriétés principales de la chaux dépendent du type de chaux :

XHN: appartient à l'une des classes de résistance : 30, 60 et 100. Ces classes correspondent à des résistances à la compression minimales à 28 jours et en bars; ex. : une chaux hydraulique naturelle offrant une résistance à la compression minimale à 28 jours de 60 bars est désignée sous le symbole de XHN 60. La masse volumique apparente du produit est comprise pour les XHN 60 et 100 entre 650 et 900 kg/m³,

La masse volumique absolue varie de 2600 à 2900 kg/m³. La chaux hydraulique en poudre est jaune claire. Elle est plus claire que les ciments et contient au moins 10% de chaux libre. Le temps de stockage : 6 mois (Venise et al, 2011).

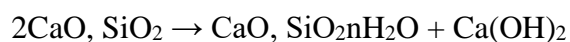
XHA : elles sont également classées selon leur résistance minimale à 28 jours, exprimée en bars. En revanche, la classe 30 n'existe pas pour les XHA. Le tableau 3.2 montre la classe de résistance de la chaux.

Tableau 3.2 : Les classes de résistance de la chaux (Venise et al, 2011)

classe	Résistance minima à la compression en bars	
	7 jours	28 jours
30	10	30
60	30	60
100	50	100

3.2.1.3.1 *Prise des chaux hydrauliques*

C'est au contact de l'eau (40 - 50%) que les silicates et aluminates calciques forment des hydrates insolubles dans l'eau (prise hydraulique : 20 à 80%). Les proportions d'alumines et de fer sont très faibles ($w_{fer} < 0,1$ ou 0,2%). Le phénomène de prise hydraulique est dû à la réaction (Venise et al, 2011):



La teneur en eau fixée 'n'varie, entre 1 et 3.

Par la suite, au contact de l'air humide, la chaux et les hydrates ainsi formés vont se carbonater (avec le CO₂ de l'air) pour redonner le carbonate de calcium et la silice d'origine (prise aérienne : 70 à 80%). Cette réaction prend plusieurs mois : c'est la partie aérienne de la prise. Le caractère hydraulique des chaux se traduit également par leur prise ou leur durcissement plus ou moins rapide sous l'eau ($T_p = 150$ mn). Les XHN utilisés dans le bâtiment sont généralement hydrauliques ou éminemment hydrauliques.

3.2.1.3.2 *Domaine d'utilisation de la chaux*

Les mortiers de chaux hydraulique trouvent leur application essentiellement dans le bâtiment où leurs qualités sont appréciées pour les enduits, les menus ouvrages de maçonnerie (joints, pose de carrelage) (Venise et al, 2011).

- Enduits

Les nombreuses qualités de la chaux, notamment plasticité et adhérence pour les XHN, rendent son emploi très intéressant et très efficace dans la réalisation des enduits extérieurs et intérieurs (Fig.3.7). La XHN 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.



Figure 3.7 : Enduit extérieur d'un mur (Venise et al, 2011)

- Mortiers de pose et de jointement

La chaux hydraulique constitue un matériau de choix pour la préparation des mortiers de pose et de liaison. Le remplissage des joints se fait parfaitement grâce à l'onctuosité du liant. Les risques de fissuration sont minimales à condition que l'épaisseur du mortier des joints réalisés soit d'au moins 10 à 15 mm (Venise et al, 2011).

- Bétons de remplissage

Les chaux hydrauliques ne sont pas utilisables pour la réalisation de bétons destinés à supporter des charges importantes, mais elles peuvent être utilisées comme bétons de remplissage destinés par exemple à niveler le fond d'une fouille de fondation ou à constituer le support d'un carrelage (Venise et al, 2011).

3.3 Les liants hydrauliques

3.3.1 Ciment portland

Le ciment portland est un liant hydraulique obtenu par cuisson (à 1450°C) et broyage d'un mélange de calcaire et d'argile (Fig.3.8).

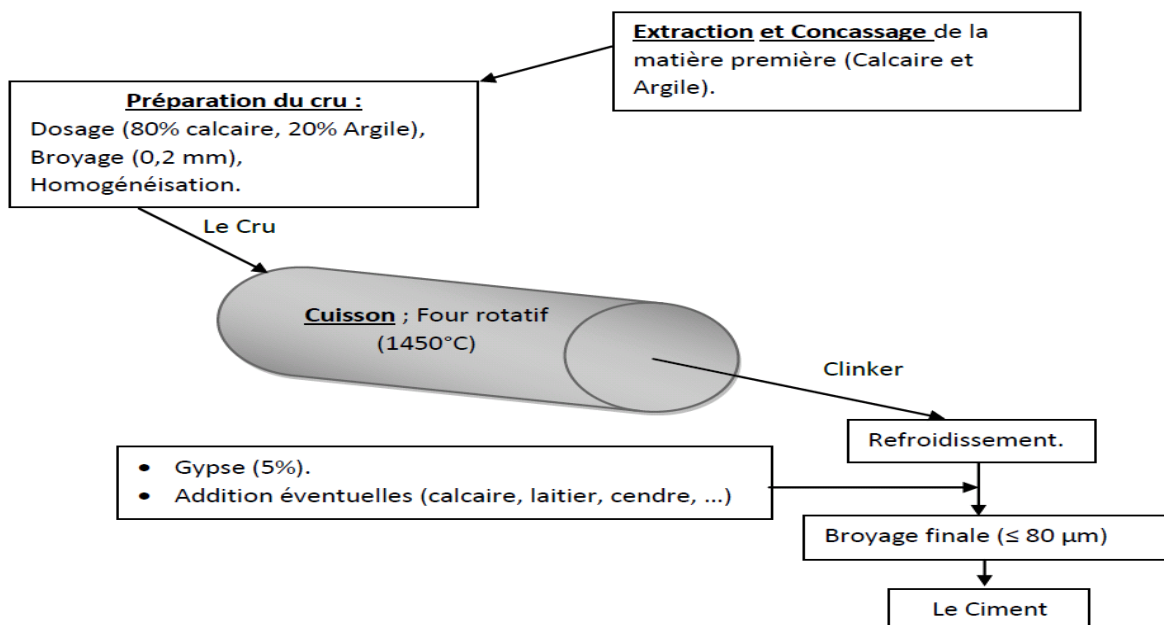


Figure 3.8 : Schéma de la fabrication du ciment Portland (Vingnes et Beurroies, 1997)

3.3. 1.1 Fabrication du ciment portland

a. Extraction

Les matières premières (80% de calcaire et 20% d'argile) sont extraites à partir des carrières naturelles à ciel ouvert par tirs de mines ou raclage du terrain par des engins (scrapers) (Fig.3.9). Elles sont acheminées par des dumpers ou des bandes transporteuses vers l'atelier de concassage (Vingnes et Beurroies,1997).



(a) Dumper Figure



(b) Bandes transporteuses

Figure 3.9 : Extraction de la matière première (Vingnes et Beurroies, 1997)

b. Concassage

Cette opération permet l'obtention de cailloux de plus petites tailles (50 mm maximum). Les blocs obtenus sont réduits dans des concasseurs situés généralement sur les lieux même de l'extraction. Après ce concassage primaire (Fig.3.10), les matières premières sont transportées vers l'usine ou elles sont stockées et préparées (Vingnes et Beurroies, 1997).

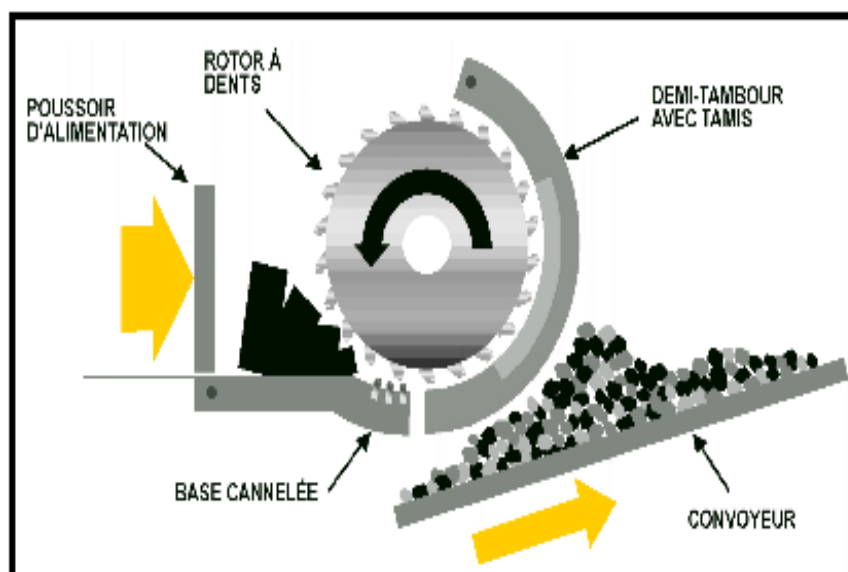


Figure 3.10 : Concassage primaire de la matière première (Vingnes et Beurroies, 1997)

c. Préparation de cru

Un mélange homogène d'argile et de calcaire est réalisé. Les proportions sont déterminées selon leurs compositions chimiques et sont toujours proche de 80 % de calcaire et 20% d'argile. Le mélange est broyé en une poudre de granulométrie inférieure à 200 microns. La poudre obtenue est homogénéisée par un mélangeur pneumatique ou mécanique. Le produit obtenu est appelé « le CRU » (Vingnes et Beurroies, 1997).

d. Cuisson du cru

Il s'agit de l'opération la plus importante du protocole de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût (Vingnes et Beurroies, 1997). La cuisson est réalisée dans des fours longs (Fig.3.11) rotatifs (1,5 à 3 tours/mn) habillés d'une tôle d'acier avec un revêtement en briques réfractaires à l'intérieur (Fig.3.12), dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre de 5 mètres de diamètre et de 80 à 100 mètres de longueur (la longueur peut atteindre 200 mètres pour la voie humide) et légèrement incliné (2 à 3% d'inclinaison).

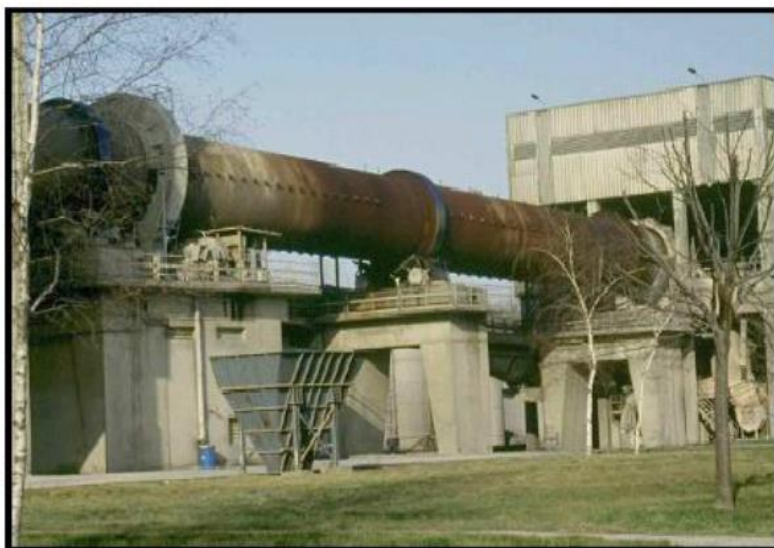


Figure 3.11 : Four rotatif (Vingnes et Beurroies, 1997)

Figure 3.12 : Intérieur du four (Vingnes et Beurroies, 1997)

Depuis son apparition vers 1895 le four rotatif est devenu l'élément central de toutes les installations modernes de production du clinker (Vingnes et Beurroies, 1997). A une température comprise entre 1400°C et 1500°C, la cuisson permet la transformation du cru en Clinker. Le cycle du traitement comporte les phases suivantes:

- Le préchauffage du cru à l'amont du four.
- La décomposition des argiles à partir de 500°C.
- La décarbonatation des calcaires (CO₂) qui s'effectue à 900°C dans la partie médiane du four.
- La formation du Clinker ou clinkérisation à 1450°C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur.

e. Broyage et conditionnement

Le broyage est la dernière phase de la fabrication du ciment. Cette opération est déterminante pour la qualité du ciment car son degré de finesse influence, de manière prépondérante, les caractéristiques de ce liant. En effet, le ciment Portland est obtenu en broyant finement le Clinker pour donner un ciment aux propriétés hydrauliques actives. Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise de ciment, est ajouté au Clinker. On obtient alors le ciment portland (Vingnes et Beurroies, 1997). Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets en acier spéciaux et mis en rotation à une vitesse calculée (Fig.3.13). Les grains sont traités collectivement à l'intérieur du broyeur par des boulets qui opèrent par chocs.

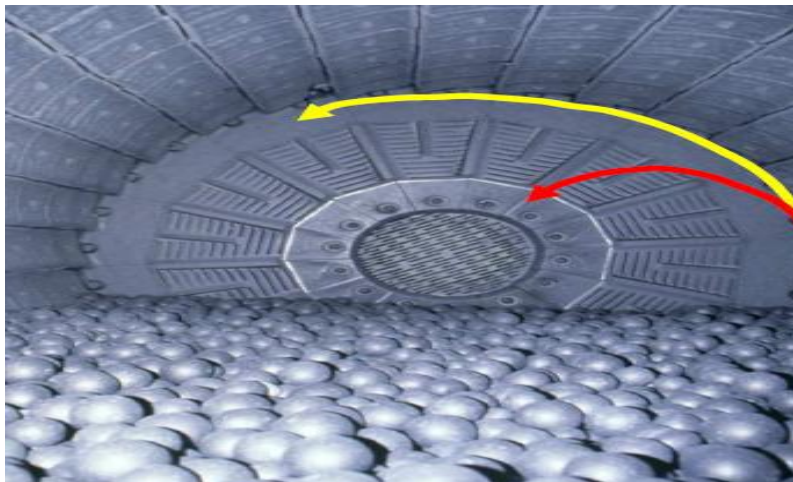


Figure 3.13 : Broyeur rempli de boulets en acier et tapissé de plaques de blindage (Vingnes et Beurroies, 1997)

- Les stations de broyage fonctionnent généralement en circuit fermé, c'est-à-dire qu'elles peuvent séparer le ciment présentant le niveau de finesse requis et renvoyer le ciment insuffisamment broyé dans le broyeur (Fig.3.14). Cette méthode la plus répandue dans les cimenteries permet d'obtenir moins de ciment sur broyé. En circuit ouvert la matière va d'une extrémité à l'autre du broyeur, et le temps de séjour est de 20 à 30 mn la finesse est fonction du débit d'alimentation, la tendance au sur broyage est très élevée (Vingnes et Beurroies, 1997).

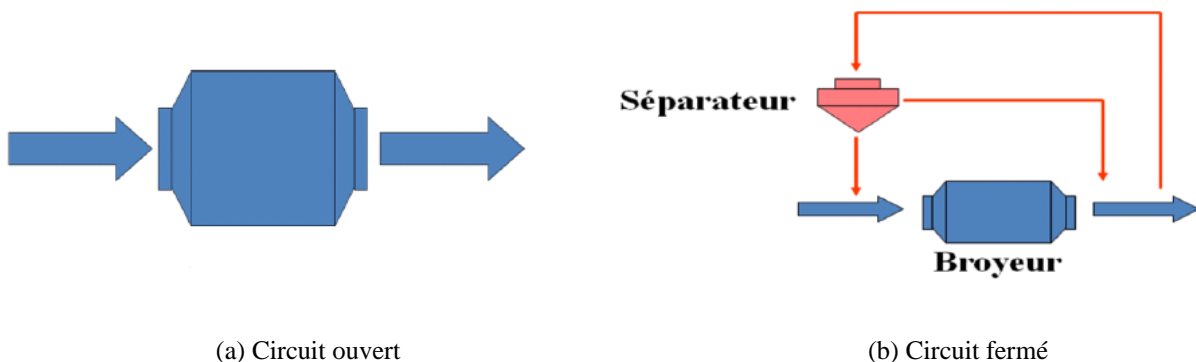


Figure 3.14 : Type de circuit dans le broyeur (Vingnes et Beurroies, 1997)

Les ciments composés, sont obtenus par additions, lors du broyage du Clinker, d'éléments minéraux supplémentaires contenus dans des matériaux comme (Vingnes et Beurroies, 1997):

- Des laitiers granulés de hauts fourneaux.
- Des pouzzolanes naturelles ou artificielles.
- Des cendres volantes de centrales électriques.
- Des fillers inertes ou calcaires.

Ces constituants sont broyés avec le Clinker ou doivent être séchés et broyés séparément (les stations de broyage peuvent être implantées ailleurs que sur le site de production du Clinker). La précision et la fiabilité du pesage et du dosage des matériaux introduits dans le broyeur, sont déterminantes pour le maintien d'un bon rendement énergétique de l'atelier de broyage. De ce point de vue, le tapis d'alimentation peseur est l'équipement le plus important pour l'alimentation de la station de broyage (Vingnes et Beurroies, 1997).

3.3.1.2 Classification et types des ciments

3.3.1.2.1 Classification des ciments

Les ciments sont répartis en trois classes de résistances ; 32.5 - 42.5 - 52.5, définis par la valeur minimale de la résistance caractéristique du ciment à 7 et à 28 jours. La résistance du ciment est déterminé sur des éprouvette de mortier de ciment (Mortier normalisé ; 3sable/1ciment/0,5 Eau), le tableau 3.3 montre les classes de résistance du ciment (Vingnes et Beurroies, 1997).

Tableau 3.3 : Les classes de résistance du ciment (Vingnes et Beurroies, 1997)

Classe de résistance	Résistance à la compression (Mpa)	
	2 jours Limite inf	28 jours Limites inf
32,5 N (Normale)	-	≥ 32,5
32,5 R (Rapide)	≥ 13,5	≥ 32,5
42,5	≥ 12,5	≥ 42,5
42,5 R	≥ 20	≥ 42,5
52,5	≥ 20	≥ 52,5
52,5R	≥ 30	≥ 52,5

3.3.1.2.2 Types du ciment

L'industrie cimentière commercialise de nombreux types de ciments (voir tableau 3.4) afin de répondre aux différents problèmes rencontrés lors de la construction des ouvrages (Vingnes et Beurroies, 1997):

- Résistances mécaniques
- Résistance à une attaque physique ou chimique
- Mise en œuvre particulière.

Tableau 3.4 : Liste des différents types de ciments courants normalisés par la norme NF 15-301 (Vingnes et Beurroies, 1997)

Désignation	Type de ciment	Clinker (%)	Ajouts et teneur en %	Matière secondaire
CEM I	Ciment portland	95 à 100 %	-	0 à 5%
CEM II / A CEM II / B	Ciment portland composé	80 à 94 % 65 à 79 %	L'un des ajouts 6 à 20 % 21 à 35 %	
CEM III / A CEM III / B CEM III / C	Ciment de haut fourneau	35 à 64 % 20 à 34 % 5 à 19 %	18 à 30 % Laitier 31 à 50 % 31 à 50 %	
CEM IV/A CEM IV/B	Ciment pouzzolanique	65 à 90 % 45 à 64 %	Pouzzolane, 10 à 35 % cendre ou fumée silice 36 à 55 %	
CEM V/A CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 % 20 à 39 %	Laitier 18 à 30 % et cendre 31 à 50 %	

3.3.1.2.3 *Domaine d'utilisation des différents ciments*

Le domaine d'utilisation de chaque type de ciment est présenté sur le tableau 3.5.

Tableau 3.5 : Domaine d'utilisation des différents ciments (Vingnes et Beurroies, 1997)

Ciment	Désignation	Utilisation	Contre indice
Ciment portland Ciment composé	CEM I CEM II	Tous travaux de béton armé - Bonne résistance - Décoffrage rapide - Bétonnage par temps froid	- Présence d'eaux agressives - Travaux souterrains - Bétonnage en grande masse
Ciment au laitier et pouzzolanique ou au laitier et cendre	CEM III CEM IV CEM V	- Béton de masse (barrage) - Béton de fondation (sol agressif) - Bétonnage en temps chaud - Eau usée - Travaux souterrains - Réservoir d'eau	- Bétonnage par temps froid - béton préfabriqué - résistance à jeune âge élevée

3.3.1.2.4 *Stockage et expédition du ciment*

Le ciment, liant hydraulique, réagit avec l'eau, doit être protégés contre l'humidité et les intempéries. Les différents types de ciment sont stockés dans des silos différents (Fig.3.15), mais il faut souvent plusieurs silos pour stocker un type donné de ciment. Cependant grâce aux nouvelles conceptions, il devient possible de stocker des ciments différents dans un même silo. La plus grande partie du ciment produit est livrée en vrac dans des camions-citernes, et l'autre partie est soit chargée en vrac dans des péniches ou des wagons, ou envoyée dans un atelier d'ensachage (Vingnes et Beurroies, 1997). Dans ce dernier le ciment produit est conditionné automatiquement dans des sacs en papier de 50 kilos par une ensacheuse rotative (Fig.3.16).



Figure 3.15 : Silos de stockage (Vingnes et Beurroies, 1997) **Figure 3.16 :** Ensacheuse rotative (Vingnes et Beurroies, 1997)

3.4 Constituants principaux et additions

3.4.1 Les constituants principaux de la chaux

La chaux hydraulique naturelle est donc le résultat de la cuisson d'un mélange de roches calcaires et de 15 à 20% d'argile. Il existe des chaux hydrauliques artificielles qui résultent du broyage simultané de clinker, de ciment et de fillers calcaires (Defossé, 2004). En résumé selon le constituant d'origine et la roche ou le traitement subi, on obtient les différentes chaux dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Les constituants principaux de la chaux (Defossé, 2004)

Roche ou constituant d'origine	Calcination au dessus de 900°C	Extinction par hydratation	Après tamisage et broyage des produits commerciaux	Nature de la chaux
-	-	Non	Chaux vive	Chaux vive
Calcaire pur	Chaux vive	Chaux éteinte	C.A.E.B hydrate de chaux	Chaux grasse
Calcaire argileux	Chaux vive+silicates+aluminates	Chaux éteinte +silicates+aluminates	Chaux hydraulique naturelle (XHN)	Chaux hydraulique
Clinker+ fillers	NON	NON	Chaux hydraulique artificielle (XHA)	Chaux hydraulique

3.4.2 Additions principales de la chaux

Le matériau obtenu peut faire l'objet, selon les cas, d'une mouture avec additions d'autres constituants : clinker, laitier, pouzzolane. Lorsqu'aucune addition n'est effectuée, à l'exception facultative du grappier, le terme "pur" peut être appliqué à la chaux hydraulique naturelle (XHN pure).

Le produit qui passe alors à travers les mailles de la toile constitue la chaux lourde. Souvent on mélange cette chaux lourde à la chaux légère pour obtenir une chaux éminemment hydraulique. Enfin, le résidu de

ce dernier blutage constitue les grappiers. Ces grappiers sont utilisés pour la fabrication de ciments à prise lente par broyage (Venise et *al*, 2011).

3.4.3 Constituants principaux du ciment

Lors de la cuisson du CRU, les constituants principaux (voir tableau 3.7) de la matière première réagissent entre eux pour former principalement quatre (04) composés minéralogiques (voir tableau 3.8).

Tableau 3.7 : Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker (Vingnes et Beurroies, 1997)

Oxydes constitutifs	Teneur limites (%)	Sources (matière première)
CaO	60 à 69	Calcaire
SiO ₂	18 à 24	Argile
Al ₂ O ₃	4 à 8	
Fe ₂ O ₃	1 à 8	
MgO	0 à 5	Calcaire et argile
Alcali (K ₂ O et Na ₂ O)	0 à 2	
SO ₃	0 à 3	

Tableau 3.8 : Composition minéralogique du ciment (Vingnes et Beurroies, 1997)

Composés	Composition	Appellation abrégée	taux
Silicate tricalcique	3 CaO.SiO ₂	C ₂ S	45 à 65 %
Silicate bicalcique	2 CaO.SiO ₂	C ₃ S	15 à 35 %
Aluminate tricalcique	3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	4 à 14 %
Aluminoferrite tétracalcique	4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	10 à 18 %

3.4.4 Additions principales du ciment

C'est des poudres fines ajoutées au ciment pour réduire le coup de production et améliorer les propriétés du béton. En peut citer (Vingnes et Beurroies, 1997):

- ✓ **Le Laitier de haut fourneau** : Matériaux issu de l'industrie de la fonte dans les hauts fourneaux. Il est composé principalement de chaux (45-50%), de silice (30-35%), d'alumine (10-15%) et de magnésie (7-10%).
- ✓ **Pouzzolane naturelle** : Produits d'origine volcanique, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive, d'alumine et d'oxyde de fer.
- ✓ **Fumée de silice** : Particules sphériques très fines ayant une très haute teneur en silice ($\geq 85\%$), issue de l'industrie de fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium.
- ✓ **Calcaire** : Lorsqu'ils sont utilisés dans une proportion excédant 5 %, en masse (constituant principal)

3.5 Conclusion

Les liants jouent un rôle crucial dans de nombreux domaines de l'industrie, en particulier dans la construction et la fabrication de matériaux. Ils sont responsables de la liaison des particules et des matériaux, ce qui permet de créer des structures solides et durables. Les liants les plus couramment utilisés sont la chaux, le ciment. Ils offrent des propriétés adhésives, de résistance et de durabilité, ce qui les rend indispensables dans de nombreux projets de construction et de fabrication. L'utilisation de liants

appropriés est essentielle pour garantir la qualité et la longévité des structures. Il est important de choisir le bon type de liant en fonction des besoins spécifiques du projet, en tenant compte des conditions environnementales, des contraintes mécaniques et des exigences esthétiques. Les liants peuvent également avoir un impact sur l'environnement, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie lors de leur production. Il est donc essentiel de rechercher des alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement, tout en maintenant les performances requises.

CHAPITRE 4 : LES MORTIERS

4.1 Composition

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de (Francis, 1978)

- Solidariser les éléments entre eux ;
- Assurer la stabilité de l'ouvrage ;
- Comblent les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables ; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier. Les mortiers peuvent être (Francis, 1978) :

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années ; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers.

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment ; de l'eau ; du sable ; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. Les mortiers sont constitués par des mélanges de (Square, 2008)

- :- Liant (ciment ou chaux)
- Eau
- Sable
- Adjuvants

4.1.1 Les liants

Généralement, on peut utiliser (Square, 2008)

- Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt, ..) ;
- Les liants à maçonner ;
- Les chaux hydrauliques naturelles ;
- Les chaux éteintes

4.1.2 Les sables

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix (Square, 2008). Les dosages se feront en poids plutôt qu’en volume comme c’est souvent le cas, afin d’éviter les erreurs de dosage, par suite de l’augmentation de volume de sable humide. Ils peuvent être :

- Naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire ;
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers) :
- Sable de laitier ;
- Sable d’oxydes de fer, de chromite ;
- Sable de briques concassées ;
- Polystyrène expansé ;

Certains sables sont à éviter, notamment les “sables à lapin”, généralement très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est (Square, 2008) :

- Extra-fins : jusqu’à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire) ;
- Fins : jusqu’à 1,6 mm ;
- Moyens : jusqu’à 3,15 mm ;
- Gros : jusqu’à 5 mm.

4.1.3 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l’on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d’adjuvants (Square, 2008) :

- Les plastifiants (réducteurs d’eau) ;
- Les entraîneurs d’air ;
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d’obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d’une gâchée à l’autre.

4.1.4 Les ajouts

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont (Square, 2008) :

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..) ;
- Fibres de différentes natures ;
- Colorants (naturels ou synthétiques) ;
- Polymères.

4.2 Les différents types de mortiers

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier (Armand et Rafestin, 1999) :

4.2.1 Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux (Fig.4.1) sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments (Armand et Rafestin, 1999).



Figure 4.1 : Le mortier de chaux (Armand et Rafestin, 1999)

4.2.2 Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciments (Fig.4.2) sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1 : 3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables (Armand et Rafestin, 1999).



Figure 4.2 : Le mortier de ciment (Armand et Rafestin, 1999)

4.3 Caractéristiques principales

Les caractéristiques principales des mortiers sont (Armand et Rafestin, 1999) :

- Ouvrabilité ;
- Prise ;
- Résistances mécaniques ;
- Retraits et gonflements, etc.

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de : une partie de ciment et de 3 parties de sable normalisé dont les grains s'échelonnent de 80 microns à 2 mm et passent dans un fuseau bien déterminé (Fig.4.3) et 0,45 partie d'eau.

Ce mortier est malaxé et mis en place dans des moules métalliques suivant des méthodes normalisées. On fait sur ce mortier des essais rhéologiques et éventuellement la prise et la chaleur d'hydratation. Beaucoup d'essais de laboratoires se font sur les prismes de 4 x 4 x 16 cm (résistances mécaniques, retrait, gonflement, absorption capillaire, résistances au gel et aux eaux agressives) (Armand et Rafestin, 1999).

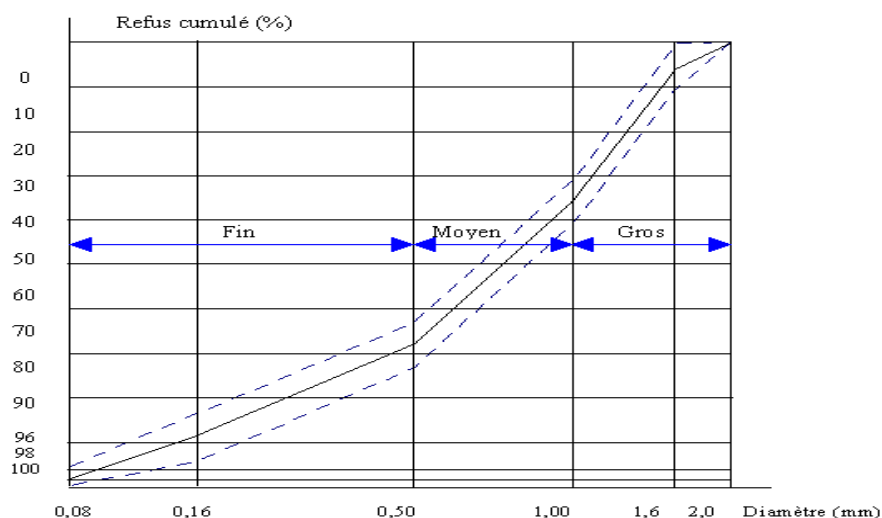


Figure 4.3 : Courbe granulométrique du sable normalisé selon les normes AFNOR (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.1 Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont (Armand et Rafestin, 1999) :

a) **La table à secousses** (Fig.4.4): le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec : D_r = diamètre final et D_i = diamètre initial.

Le tableau 4.1 montre l'ouvrabilité du mortier en fonction des résultats d'étalement trouvés à l'aide de la table à secousses.

Tableau 4.1 : Ouvrabilité du mortier (Armand et Rafestin, 1999)

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

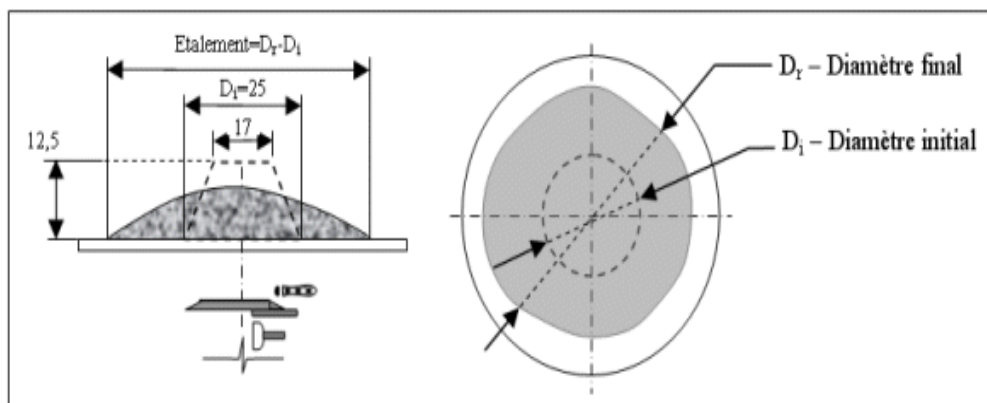


Figure 4.4 : Table à secousses (Armand et Rafestin, 1999)

Exercice d'application:

Soit un mortier normal avec un diamètre moyen après l'essai d'étalement $D_r = 15$ cm. Le moule de cône de diamètre à la base $D_i = 10$ cm. Calculer l'étalement de ce mortier et indiquer le type de l'ouvrabilité.

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i} = 100 \times \frac{15 - 10}{10} = 50\%$$

D'après le tableau 4.1 : pour un étalement de 50% on aura une ouvrabilité ferme

4.3.2 Prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur (Fig.4.5).

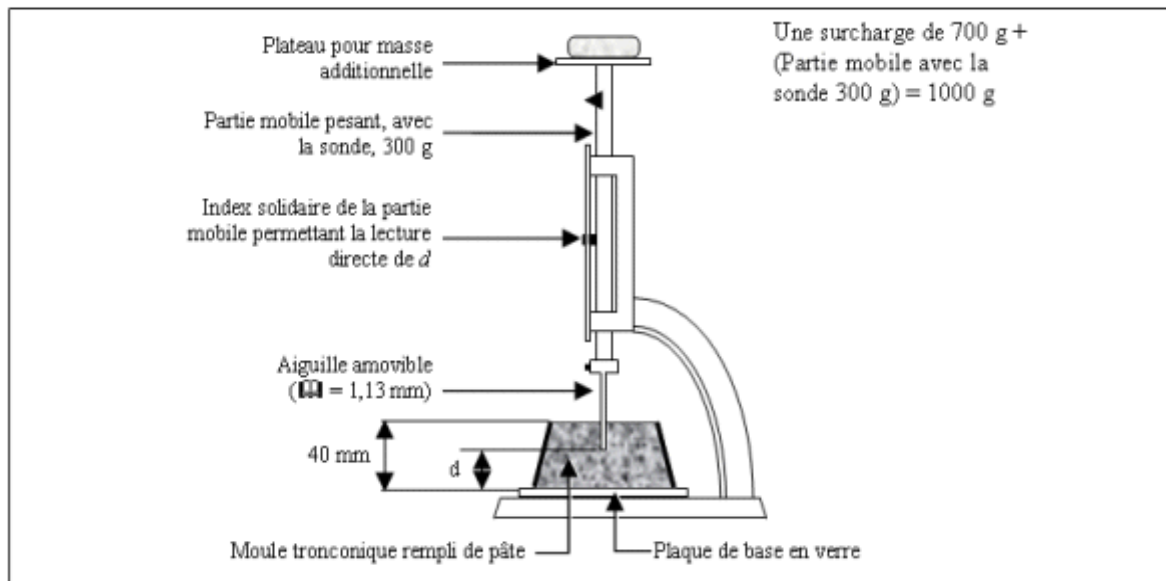


Figure 4.5 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.3 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C (Fig.4.6) (Armand et Rafestin, 1999).

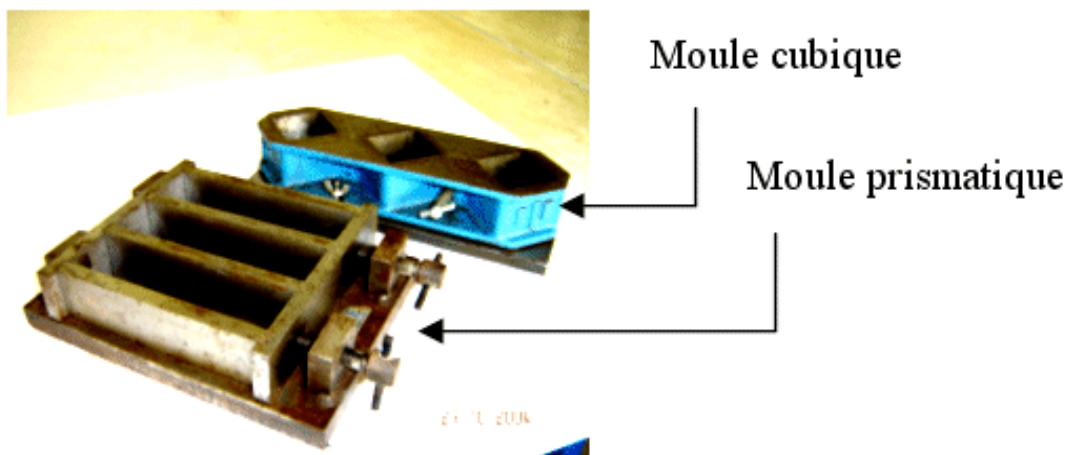


Figure 4.6 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier (Armand et Rafestin, 1999)

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion (Fig.4.7) puis en compression (Fig.4.8). Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent avec le temps (entre 1 et 28 jours) (Armand et Rafestin, 1999).

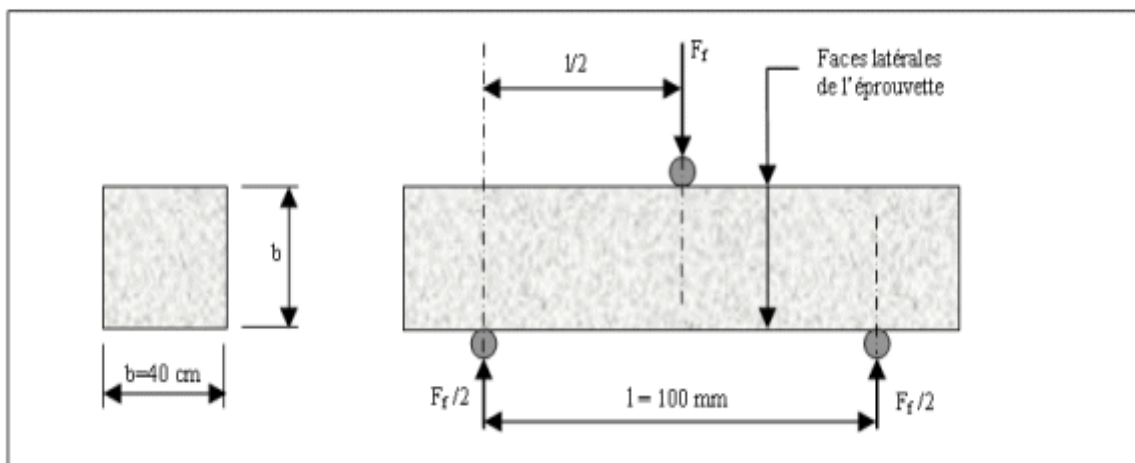


Figure 4.7 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (Armand et Rafestin, 1999)

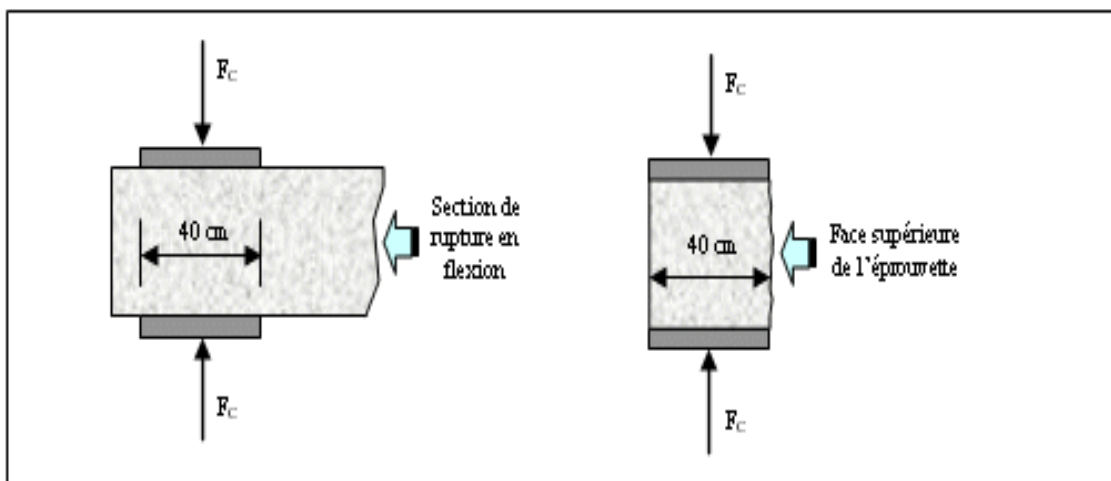


Figure 4.8 : Dispositif de rupture en compression (Armand et Rafestin, 1999)

Les résistances des mortiers (comme dans le cas des bétons) dépendent de très nombreux facteurs :

- nature et dosage en ciment ;
- rapport C/E ;
- granulométrie et nature du sable ;
- énergie de malaxage et mise en œuvre ;
- protection les tous premiers jours.

4.3.4 Retraits et gonflements

Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50 % d'humidité relative (Fig.4.9). Ce retrait progresse avec le temps 1 et 28 jours. Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment) (Armand et Rafestin, 1999).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles.

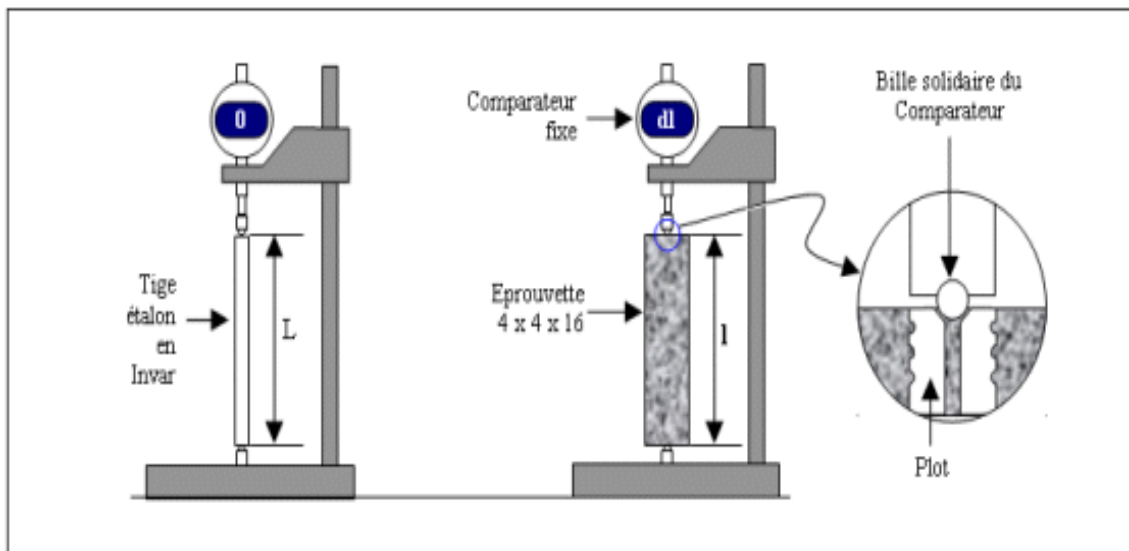


Figure 4.9 : Appareillage pour la mesure du retrait (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.5 Emplois des mortiers

4.3.5.1 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 (Fig.4.10).



Figure 4.10 : Assemblage des briques avec un mortier (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.5.2 Les enduits

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. A côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201-1, se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants (Fig.4.11).



Figure 4.11 : Application des enduits (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.5.3 Les chapes

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface (Fig.4.12). Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.



Figure 4.12 : Le support d'un revêtement de sol (Armand et Rafestin, 1999)

4.3.5.4 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 (Fig.4.13).

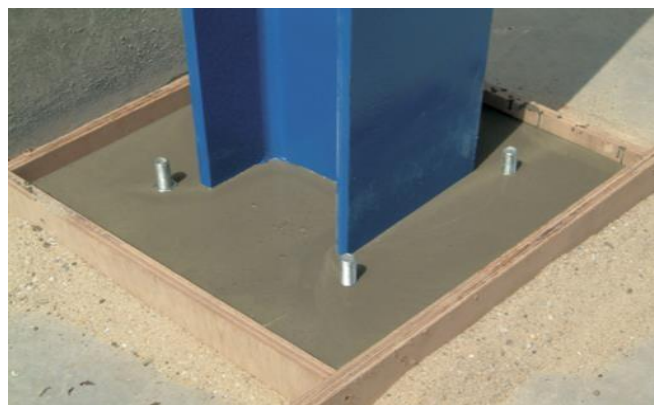


Figure 4.13 : Le calage d'un poteau en charpente métallique (Armand et Rafestin, 1999)

4.4 Conclusion

Les mortiers sont indispensables dans le domaine de la construction en raison de leur capacité à fournir une liaison solide et durable entre les matériaux de construction. Ils offrent également des avantages tels que la résistance aux intempéries, la flexibilité et la capacité à absorber les contraintes. Que ce soit pour des projets de grande envergure ou des travaux de rénovation, les mortiers restent un élément clé pour assurer la solidité et la durabilité des structures.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les matériaux de construction jouent un rôle crucial dans la réalisation de projets architecturaux et de travaux de construction. Le choix des matériaux appropriés est essentiel pour assurer la solidité, la durabilité et la sécurité des structures. De plus, les matériaux de construction peuvent également contribuer à l'efficacité énergétique, à la réduction des émissions de carbone et à la préservation de l'environnement. Il est donc primordial de prendre en compte les caractéristiques techniques, les performances et les aspects durables des matériaux lors de la planification et de la mise en œuvre des projets de construction. En outre, l'innovation continue dans le domaine des matériaux de construction offre de nouvelles possibilités pour des constructions plus durables, plus résistantes et plus esthétiques. En somme, les matériaux de construction sont l'un des piliers fondamentaux de toute construction et leur choix judicieux est essentiel pour garantir la qualité et la pérennité des bâtiments.

Bibliographique

- Armand. J, Rafestin. Y. (1999) *Conduire son chantier*. Édition le moniteur, Paris. 1
- Delisle. J.P, Alou F. (1978) *Matériaux de construction*. Lausanne, octobre.2
- Defossé. C. (2004) *Chimie du ciment, valorisation des déchets en cimenterie*. Université libre de Bruxelles, Faculté des sciences appliquées, laboratoire de chimie industrielle.3
- Dreux G., Festa J.. (1998) *Nouveau guide du béton et de ses constituants*. Edition Eyrolles.4
- Dupain. R, Lancho. R. N, Arroman. J. C. S., Capliez A.. (2004) *Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*. Editions casteilla.5
- Francis. N. (1978) *Le planning du coordinateur de travaux*. Édition Eyrolles. Paris.6
- Laquerbe. M. (1974) *Le béton*. Insa de renne.
- Renaud. H, Letertre. F. (1995) *Travaux de construction. Technologie du bâtiment gros-œuvre*. Les Éditions Foucher.7
- Square. N. P. (2008) *Project Management Institute: Guide du corpus des connaissances en management de projet*. Editeur, PMI Publication, quatrième édition.8
- Venuat. M. (1989) *La pratique des ciments, mortiers et béton*. Edition Le Moniteur.9
- Vimane. P. (2006) *Matériaux de construction*. Université national du Laos, Faculté d'ingénierie et d'architecture, 2006.10
- Venise. R.P, Valicourt. M, Matos. S. (2011) *Construire ou rénover, basse consommation, la tuile, terre cuite joue la séduction durable*. Info presse.11
- Vingnes. J.L, Beurroies. I. (1997) *Expériences sur l'élaboration et les propriétés d'un matériau, une vie de verre*. Bulletin de l'union des physiciens, centre de ressources pédagogiques en Chimie, Economie, Industrie, ENS de Cachan.12