

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO
UNIVERSITE PROTESTANTE DE LUBUMBASHI
UPL
FACULTE D'ARCHITECTURE



COURS DE CHIMIE DES MATERIAUX DE
CONSTRUCTION DESTINE AUX ETUDIANTS EN Bac I

Par: Ir. Prince KASHASHA

Cours de chimie des matériaux de construction

Objectif du cours

Dans ce cours, nous présenterons tout d'abord l'importance des matériaux dans le métier D'architecte.

Nous présenterons aussi la classification et les propriétés principales des matériaux.

En sciences des matériaux, les matériaux de base sont classés en trois catégories, mais dans la construction, il est devenu courant de distinguer les matériaux selon les domaines d'emploi et les caractéristiques principales.

Les propriétés principales des matériaux de construction peuvent être généralement divisées en

Plusieurs groupes telles que :

- Propriétés physiques,
- Propriétés mécaniques,
- Propriétés chimiques,
- Propriétés physico-chimiques,

Plan du cours

1. Généralités et propriétés des matériaux de construction
2. Le Béton
3. Produits céramiques
4. Métaux ferreux et non ferreux
5. Le verre
6. Le plâtre

Chapitre I. Généralités et propriétés des matériaux de construction

1.1. 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.).

1.2. Classification des matériaux de construction

On distingue trois types de classification les plus couramment connus :

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 extérieures, tels que : Enduits, Peintures, Bitumes, etc.

1.3. Propriétés de matériaux

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

- L'absorption 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....)

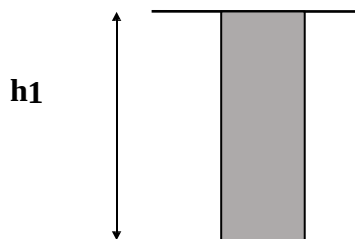
1.4. Les propriétés physiques

- **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/cm³; kg/m³; T/m³). On peut déterminer la masse volumique d'un matériau en utilisant la formule suivante :



A diagram showing a vertical rectangular block. To its left, a vertical double-headed arrow is labeled h_1 , indicating the height of the block.

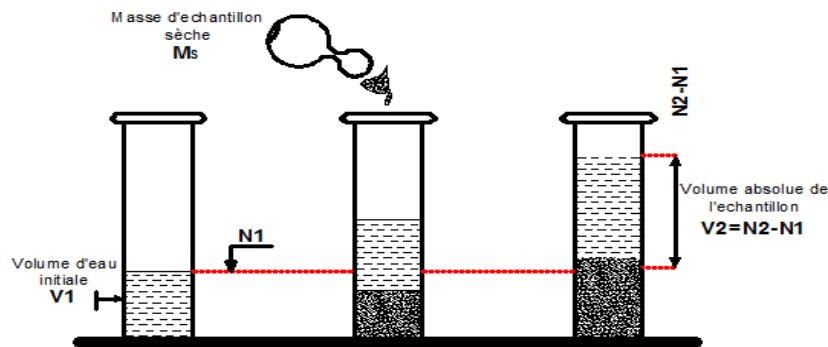
$$\gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}}$$

Où :

M_s : masse d'un corps sèche. V_{ap}

: volume apparent.

- **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 1.1 explique la méthode de détermination de la masse volumique absolue d'une matière.

Figure1.1 : Mesure de la masse volumique absolue.

$$\gamma_{ab} = \frac{M_s}{N_2 - N_1}$$

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

$$\begin{array}{l}
 \text{Sable} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} = \frac{1.54}{1} = 1.54 \text{ kg/l} \\ \gamma_{ab} = \frac{M_s}{N_2 - N_1} = \frac{2.55}{2-1} = 2.55 \text{ kg/l} \end{array} \right. \\
 \\
 \text{Gravier} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} = \frac{1.41}{1} = 1.41 \text{ kg/l} \\ \gamma_{ab} = \frac{M_s}{N_2 - N_1} = \frac{2.58}{2-1} = 2.58 \text{ kg/l} \end{array} \right.
 \end{array}$$

- **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.

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

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 importantes 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 :

$$W = \frac{G_h - G_s}{G_s} \times 100\%$$

Où

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 »**

Saturation 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).

On peut déterminer le degré d'absorption par la formule suivante :

$$H_p = \frac{G_{ab} - G_s}{G_s} \%$$

Avec :

G_{ab} : la masse absorbante.

G_s : la masse sèche d'échantillon.

V_0 : le volume apparent du matériau

1.4.1. 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.

1.4.2. 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)

Chapitre II. Le béton

Introduction

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland.

Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m^3 . Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc. Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier ou du béton. Le ciment, l'eau et les adjuvants forment la pâte liante.

Lorsqu'il n'y a pas de squelette granulaire, on parle de "pâte de ciment". La pâte est un élément unique et actif du béton enrobant les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. La pâte joue le rôle de lubrifiant et de colle. Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice). De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m^3 [4].

I.2. Les composants du béton

I.2.1. Le ciment

Le ciment est le liant hydraulique par excellence. Ce dernier est généralement composé de calcaire et d'argile. Il fait partie des principaux composants du béton, liant ses constituants entre eux, et lui confère certaines caractéristiques essentielles telles que sa résistance.

La composition du ciment peut varier en fonction des différents types de besoins, ce qui le divise en plusieurs catégories [3] :

- Le CEM I (ciment Portland) est un ciment adapté pour la conception de béton armé ou précontraint car il offre un niveau de résistance élevé.
- Les CEM II A ou B (ciment Portland composé) ont pour particularité d'être très maniables. Ils sont donc utilisés dans les travaux d'usage courant tels que pour les chapes traditionnelles ou bien pour les enduits simples.
- Les CEM III A, B ou C (ciment de haut-fourneau) sont adaptés à des environnements difficiles, ils sont réputés pour être durables.
- Les CEM IV A ou B (ciment de type pouzzolanique) sont également adaptés à un milieu agressif, idéals pour des structures hydrauliques. Absents en France.
- Les CEM V A ou B (ciment composé) ont les mêmes propriétés physiques que les CEM III mais pas les mêmes constituants.

I.2.1. Principe de fabrication du ciment

Les ciments artificiels portland sont actuellement les ciments les plus utilisés dans le monde, il existe deux procédés de fabrication de ciment :

Par voie sèche : elle est préférable lorsque les matières premières sont peu humides ou sec ainsi le broyage, la cuisson et le mélange seront réalisés à sec.

Par voie humide : le broyage se fait en présence de l'eau elle convient plus pour les matières premières humides ou moues et la pâte est cuite sous forme de boue liquide.

Il existe aussi d'autre méthode par voie intermédiaire, dites mixtes : semi-sèche, semi-humide.

I.2.1.1. L'extraction et la préparation de la matière première :

Les matières premières sont extraites des carrières généralement avoisinantes à l'usine. Le mélange est formé de calcaires et d'argile à es fractions différentes ainsi que des correctifs comme le laitier de hauts-fourneaux, déchet de la fabrication de l'acier et de la fonte [7].

I.2.1.2. Le broyage :

Avant d'arriver à la cuisson les composants du mélange on des dimensions plus au moins grandes ce qui n'est pas convenable et pour cela il est jugé indispensable de passé au broyage, dans cette phase ces matières premières sont envoyées dans des broyeurs afin de les transformer en poudre à grains $<200\mu\text{m}$.

I.2.1.3. La cuisson :

A cette étape la pate se déplacera dans un four rotatif au long d'un tube de 150m et de 3.5m de diamètre, légèrement incliné par rapport à l'horizontale. Le mélange broyé est introduit dans la partie supérieure et est chauffé lors de sa descente dans le four par gravité.

Cette opération dure environ six heures, elle a pour but de sécher l'eau libre aussi que celle constitutive des particules d'argile, aussi que formation de quelque combinaisons chimique quand la température des matériaux atteint environ 1450°C dans la partie inférieure. Le mélange entre alors en fusion et forme un granulé appelé le (**CLINKER**) est la base constitutive du ciment.

I.2.1.4. Le refroidissement et le broyage :

A la sortie du four, le clinker tombe dans des refroidisseurs à travers lesquelles est soufflé de l'air froid, ensuite additionné de gypse puis broyé très finement ($<100\mu\text{m}$) dans des tambours rotatifs contenant des boulets.

I.2.1.5. Le stockage :

Dans la phase finale le ciment obtenu est stocké soit dans des silos ou bien conditionné en sac de 50 kg



Figure I.1 Le four de fabrication de ciment [12].

LA FABRICATION DU CIMENT PRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE CIMENTERIE

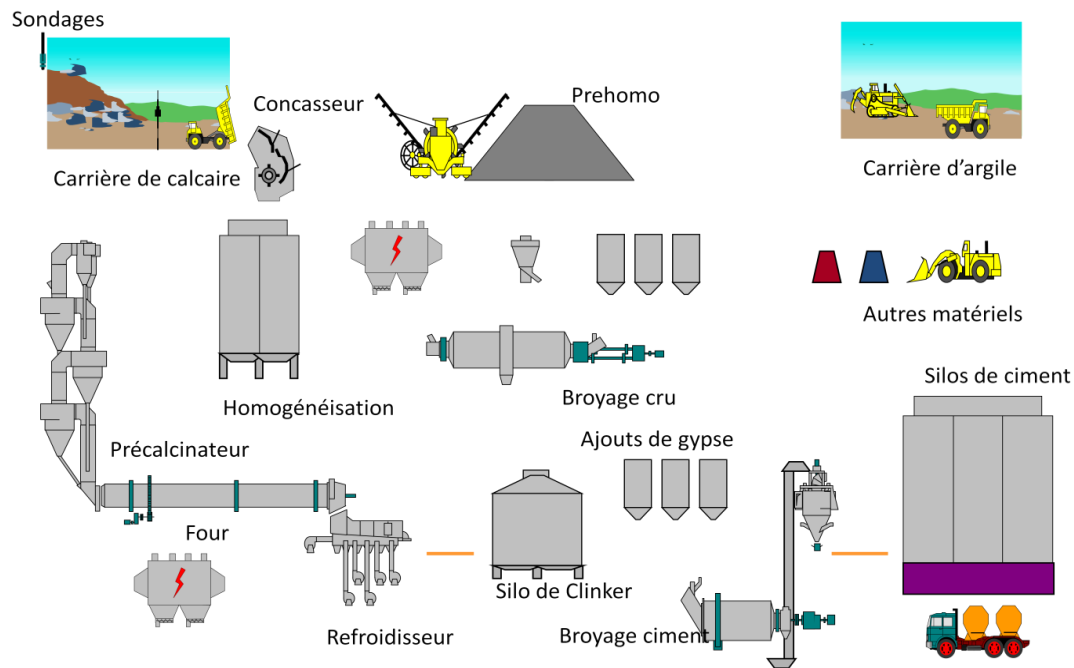


Figure I.2 Principe de fabrication de ciment [12].

L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément indispensable lors de la conception du béton. Elle permet **d'hydrater** le ciment, ce qui libère ses capacités de liant, et rend également plus facile **l'application** du béton. L'eau utilisée doit être **propre** ! (Evitez d'utiliser de l'eau de mer) et prenez garde à ne pas l'ajouter avec excès sous risque **d'altérer les performances** de votre béton. En effet, cela pourrait diminuer sa résistance et sa durabilité.

Les granulats :

Les granulats, d'origine naturelle ou artificielle, sont des grains minéraux de **dimensions variables**. En tant que principaux composants du béton, ils lui transmettent certaines **caractéristiques** techniques et esthétiques, notamment sa **résistance**. Le choix du type de granulat utilisé ne doit donc pas être fait à la légère car il aura une **influence** sur la durabilité de votre béton. On distingue alors **différentes sortes** de granulats : les fillers, les sables, les graves, les gravillons et les ballasts.

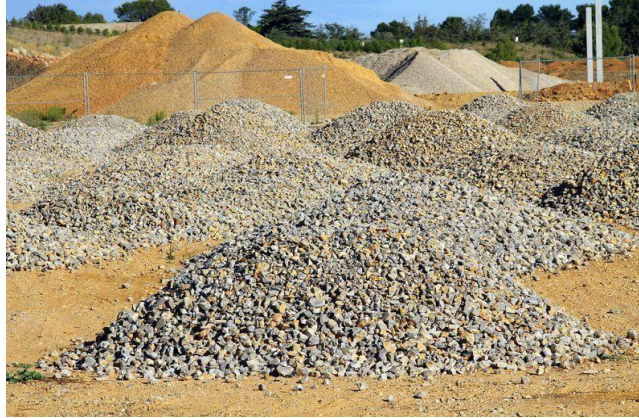


Figure I.3 Les différents types de granulats

On classe les différents types de granulats en fonction de leurs dimensions, exprimées par la formule d/D .

d = diamètre le plus petit du granulat.

D = diamètre le plus grand du granulat

La sélection des granulats destinés au béton est très délicate, et pour cela il est nécessaire de connaître les différentes caractéristiques et les propriétés qui les distinguent ainsi que la source dont ils proviennent.

De façon générale on peut affirmer que les granulats sont composés de grains durs, compacts résistants à l'usure, présentent une bonne durabilité et permettant d'obtenir une bonne cohérence avec la pâte de ciment.

Selon les propriétés du béton requises, les granulats doivent satisfaire des exigences supplémentaires comme être résistants au gel et aux produits de déverglaçage ou offrir une résistance à l'usure élevée. Conformément à la norme, il convient de contrôler l'adéquation des granulats en matière de propreté, de dureté, de forme des grains et de structure de surface. Les graviers naturels provenant des sédiments des fleuves et des lacs peuvent en règle générale être utilisés sans opérations préliminaires complexes.

Il convient en revanche d'examiner plus attentivement les granulats d'autres provenances. La forme aplatie des granulats issus des travaux de creusement de tunnels a souvent une influence négative sur l'ouvrabilité du béton frais.

Les matériaux recyclés présentent souvent une résistance insuffisante et ont un besoin en eau élevé. Les granulats issus de la démolition d'ouvrages en béton permettent de fabriquer un béton recyclage classifié, tandis que les granulats de démolition mixtes ne peuvent être utilisés que pour un béton non classifié et non armé, n'ayant aucune fonction portante.

Granulats roulés :

Ils sont plus faciles à mettre en place et ne nécessitent pas de moyens de serrage importants, glissent bien entre les armatures et convient particulièrement au béton armé.

Granulats concassés :

Ils donnent lieu des bétons raides à mise en lace difficiles. En revanche ils adhèrent bien à la pâte de ciment et procurent au béton une plus grande résistance notamment à la traction.

Les adjuvants :

Les adjuvants sont des **produits chimiques** ajoutés lors du malaxage du béton et **faiblement dosés** lors de la préparation (moins de 5% de la masse du béton). Ces produits offrent la possibilité **d'améliorer certaines caractéristiques** du béton telles que son temps de prise ou son étanchéité. Très répandus aujourd'hui, il existe **différents types** d'adjuvants qui vous permettront d'obtenir le béton de vos rêves Tableau I.1 [2], [3].

Tableau I.1 Les différents types des adjuvants

Tableau des différents adjuvants	
Nature	Effets
Prise et durcissement	• <u>Accélérateur de prise</u> : diminue le temps de prise du béton. • <u>Accélérateur de durcissement</u> : accélère le temps de durcissement du béton. • <u>Retardateur de prise</u> : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.
Ouvrabilité du béton	• <u>Plastifiant</u> : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer. • <u>Plastifiant réducteur d'eau</u> : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité. • <u>Superplastifiant</u> : ○ <u>Fonction fluidifiante</u> : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance. ○ <u>Fonction réductrice</u> : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.
Modification de certaines propriétés	• <u>Entraîneur d'air</u> : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide. • <u>Hydrofuge</u> : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores. • <u>Les pigments</u> : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.
Les produits de cure	Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation.

Principaux avantages et inconvénients du béton

Avantages du béton :

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien.
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer.
- Il devient solide comme de la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelle

- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint).
- Il convient aux constructions monolithiques. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas de béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité.
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées.
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication [4].

Inconvénients du béton :

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toutes façons, il reste les quelques inconvénients suivants [4] :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de béton légers d'isolation)
- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux)
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.

Classification du béton

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories [4]. Tableau I.2

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant): $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),

- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse) et
- Béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- a) Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- b) Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- c) Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.
- d) Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de 500 kg/m^3 . Ils sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.
- e) Les bétons de fibres, plus récents, correspondent à des usages très variés: dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain.

Tableau I.2 Les différents types des bétons

Tableau des différents types de béton			
Types de béton	Caractéristiques	Exemples de dosages pour 1m ³ de béton	Applications
Le béton léger	Composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air.	Ciment : 400 kg ; Billes PSE : 350 L ; Sable : 950 kg ; Eau : 170 L ; Adjuvant : 1 à 4%	Hourdis, cloisons, réhabilitation de bâtiment anciens, remplissages
Le béton lourd	Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite)	Ciment : 250 kg ; Hématite 0/1 mm : 1000 kg ; Hématite 0/5 mm : 900 kg ; Hématite 8/25 mm : 1700 kg ; Eau : 120 L	Protection contre les radiations, réalisation de contrepoids
Le béton auto-plaçant	Ajout d'adjuvants tels que des superplastifiants et des agents de viscosité dans la composition. Béton très fluide se mettant en place sans avoir recours à un système de vibration.	Ciment : 350 kg ; Sable : 800 kg ; Gravillons : 900 kg ; Fines 200 kg ; Eau : 180 L	Radier, fondations, sols industriels
Le béton fibré	Ajout de fibres de nature, dimension et forme différentes. Réparties de manière homogène dans le mélange, ces fibres améliorent certaines caractéristiques du béton (résistance à la traction, tenue au feu).		Dalles, sols industriels, poutres, tuyaux
Les bétons décoratifs	Leur composition évolue en fonction des caractéristiques recherchées.	Béton lavé : Ciment : 300 kg ; Granulat : 800 kg ; Sable semi-fin : 400 L ; Eau : 160 L	Murs, terrasses, dalles, allée, trottoirs
Les bétons hautes performances	Bétons aux résistances accrues, très peu poreux. Plus durables.	Dépend du BHP	Ponts, centrales nucléaires, ouvrages de grande ampleur

La norme ENV 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau I.3 Dans ce tableau f_{ck} est la résistance caractéristique

mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Eurocode 2) ; f_{ck}^{cube} est la résistance caractéristique mesurée sur cubes. Les valeurs soulignées sont les valeurs recommandées.

Tableau I.3 Les résistances à la compression selon les classes des bétons

Classe	<u>C12/15</u>	<u>C16/20</u>	<u>C20/25</u>	<u>C25/30</u>	<u>C30/37</u>	<u>C35/45</u>	<u>C40/50</u>	<u>C45/55</u>	<u>C50/60</u>
f_{ck}^{cyl} (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ck}^{cube} (Mpa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60

Sélection les éléments pour béton

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage [4].

Etude de la composition du béton

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier [4].

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisées sur le chantier.
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les

qualités recherchées :

- Minimum de vides internes, déterminant une résistance élevée ;
- Bonne étanchéité améliorant la durabilité
- Résistance chimique ;
- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

La composition granulométrique

La répartition des granulats ainsi que le diamètre maximal des grains des composants solides du béton (granulat, ciment) déterminant fortement les propriétés du béton frais.

Les graviers naturels peuvent varier fortement en ce qui concerne la répartition des grains et contenir des substances nuisibles comme le fumier, l'argile, terre glaise, gypse etc....

C'est pourquoi ils sont lavés plusieurs fois dans un centre de traitement, triés en groupes des grains par tamisage (par exemple 0-4, 4-8, 16-32) puis mélangés ultérieurement conformément à la granulométrie souhaitée.

La taille maximale des grains doit être déterminée en tenant compte de la géométrie de l'élément et de la distance entre armatures.

Rapport E/C :

Par définition le rapport entre les masses d'eau (E) et le ciment (C) contenues dans le béton est mentionné sous la forme de rapport eau-ciment (E/C), ce rapport est considéré de l'une des valeurs caractéristiques les plus importantes du béton frais et du béton durci.

Lorsque le rapport augmente, le béton frais devient plus plastique et son ouvrabilité ainsi que sa compatibilité s'améliorent. Cependant la qualité d'un béton après durcissement est d'autant meilleure que le rapport est faible [2].

En partant de l'hypothèse d'une hydratation complète une quantité d'eau proportionnellement faible est nécessaire au durcissement du béton. Le ciment ne peut lier qu'une quantité d'eau environ équivalente à 40 de sa masse ceci correspond à un rapport $E/C=0.4$.

Un béton possédant un rapport E/C de 0.4 n'est cependant pas ouvrable. En pratique on augmente par conséquent la quantité d'eau ce qui améliore l'ouvrabilité et la compatibilité du béton. Le ciment c'est toute fois pas en mesure de lier cet excédent d'eau désormais présente dans le béton. Le volume occupé par excédent d'eau dans le béton est appelé volume des pores capillaires.

- Avec l'augmentation du volume d'eau, le rapport E/C augmente et par la suite la résistance du béton diminue.
- Le béton possède un rapport (E/C) élevé aspire plus rapidement un volume d'eau plus important.
- Le béton possède un rapport (E/C) élevé dégage plus d'eau dans l'environnement lors du séchage et se caractérise par un retrait plus important. Il en résulte des tensions

élevées qui provoquent des fissures.

- Le béton possède un rapport (E/C) élevé c'est un dire un béton avec une pâte de ciment riche en eau, fluide. Un tel béton est atteint par la ségrégation et il en résulte un poudrage de surface.
- Lorsque le rapport (E/C) élevé, la résistance diminue. Le risque de la corrosion des aciers d'armatures augmente. Les éclatements consécutifs aux effets du gel surviennent plus rapidement.
- Le béton possède un rapport (E/C) élevé se caractérise par une couleur claire parce que la partie de ciment non-hydratant est très faible.

Méthode de formulation :

- ❖ Méthode de Bolomey.
- ❖ Méthode de Fuller.
- ❖ Méthode valette.
- ❖ Méthode de Faury.
- ❖ Méthode de l'université de Sherbrooke en Canada).
- ❖ Méthode informatique (logiciel BétonlabPro du LCPC).
- ❖ Méthode de Dreux – Gorisse.

Application de la méthode de dreux [5]:

Des calculs exécutés par application de la méthode générale ont permis d'aboutir à la mise au point de trois abaques de composition de bétons, reproduits ci-après et s'appliquant chacun :

à un béton fin : $D = 16 \text{ mm}$

à un béton normal : $D = 25 \text{ mm}$

à un gros béton : $D = 40 \text{ mm}$

LES DONNEES DU PROBLEME :

Elles sont au nombre de trois :

- **la dimension** maximale des granulats, ex : $D = 25 \text{ mm}$
- **l'ouvrabilité** qui peut être définie par la plasticité mesurée par l'affaissement (A) au cône d'Abrams, ex : $A = 7 \text{ cm}$
- **la résistance** qui peut être définie par l'écrasement en compression d'éprouvettes

cylindriques réalisées avec le béton en question, ex : $f_{c28} = 30 \text{ Mpa}$.

➤ ***La teneur en eau initial des granulats.***

Ce sont d'ailleurs là trois données qui sont à préciser lorsqu'on passe commande d'un béton à une centrale de béton prêt à l'emploi.

1. Sur l'abaque correspondant à la valeur D adoptée (16,25 ou 40 mm), on part verticalement de la plasticité désirée jusqu'à rencontrer au point R la droite de résistance souhaitée.
2. A partir de R , on part horizontalement et vers la droite jusqu'à trouver au point C le dosage en ciment (en kg/m^3) sur l'échelle verticale.
3. En poursuivant cette horizontale on détermine les points G , et G_2 (et G_3 sur l'abaque n°3) à l'intersection avec les droites de granulats (sable, gravier...).
4. En descendant verticalement à partir de G , et G_2 (et G_3 éventuellement) on trouve, sur l'échelle horizontale, les volumes en litres de ces granulats.
5. Quant au dosage en eau, on détermine le point D à l'intersection de la première verticale avec la droite " dosage en eau " et l'on part horizontalement à partir de D vers la droite jusqu'au point E , à l'intersection de la verticale correspondant au degré d'humidité apparent des matériaux. Le dosage en eau à ajouter se lit sur le réseau de droites inclinées.

Dans le cas où l'horizontale issue de R couperait l'échelle du ciment au-dessus de la valeur 400 kg/m^3 il est conseillé, plutôt que d'augmenter le dosage en ciment au-delà de 400, de prévoir un adjuvant (plastifiant ou superplastifiant), et dans ce cas le point D est à remplacer par le point D' pour déterminer le dosage de l'eau à ajouter.

UTILISATION DES ABAQUES DE DREUX



CAS D'UN BÉTON FIN = 12,5 mm.

Abaque n° 1.

On désire :

1. un béton très plastique (affaissement 10 cm)
2. une résistance moyenne : 20 MPa (environ)
3. ciment (classe 32,5) 300 kg/m³
4. sable 0/4 mm 625 litres

5. gravillons 5,6/12,5 mm 705 litres
6. dosage en eau – point E
7. on suppose que les granulats sont « mouillés »
8. la lecture sur la grille donne 80 litres d'eau environ à ajouter.

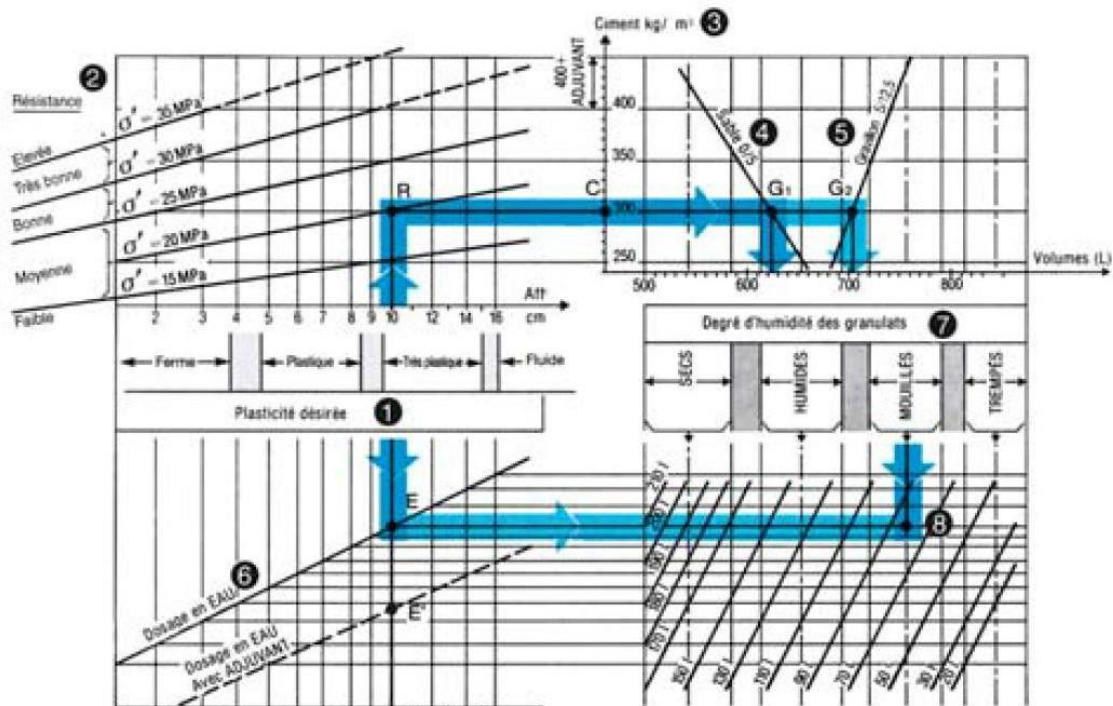


Figure I.4 Abaque de Dreux [5].

Caractéristiques principales du béton frais

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci.

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur [4].

L'ouvrabilité du béton frais.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

Affaissement au cône d'Abrams.

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure 6.5.1. Il se compose de 4 éléments : un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure ; une plaque d'appui ; une tige de piquage; un portique de mesure [4].

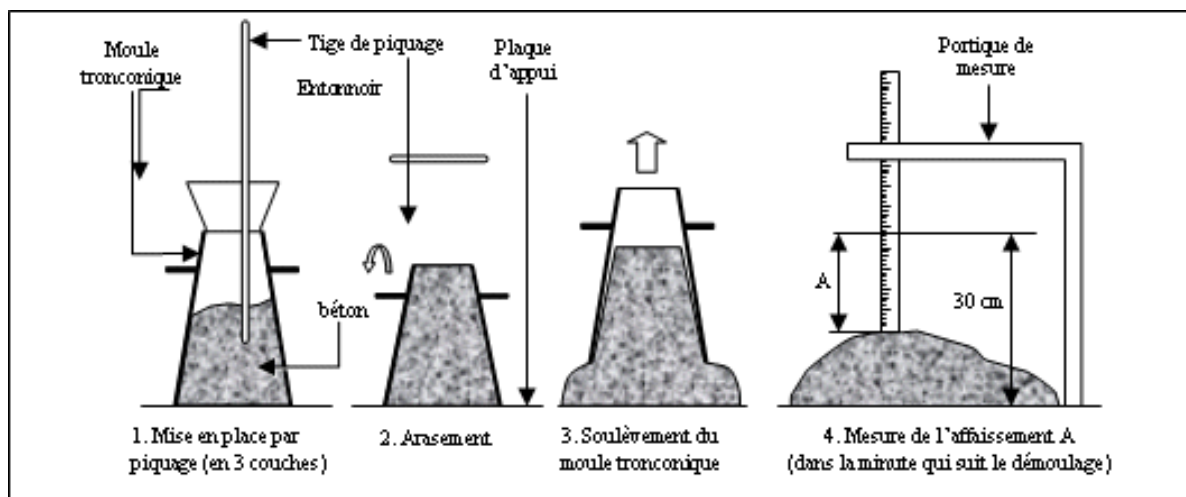


Figure I.5 Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams [4].

Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau I.3

Tableau I.4. Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

Etalement sur table :

L'essai d'étalement sur table (Flow-test) consiste à utiliser une table à chocs Figure 5.2 comprenant un plateau métallique animé d'un mouvement vertical. Un moule tronconique disposé sur cette table et du matériau à étudier (mortier ou béton). Après arasement et démoulage (en soulevant le moule), on donne à la table, à l'aide d'une manivelle, quinze chocs en quinze secondes. Le matériau s'étale sous forme d'une galette dont on mesure les deux diamètres perpendiculaires. L'étalement (en %) est donné par la formule [4] :

$$\frac{D - D_1}{D} 100$$

Avec :

D_1 : Diamètre inférieur du moule.

D : Diamètre moyen de la galette après l'étalement.

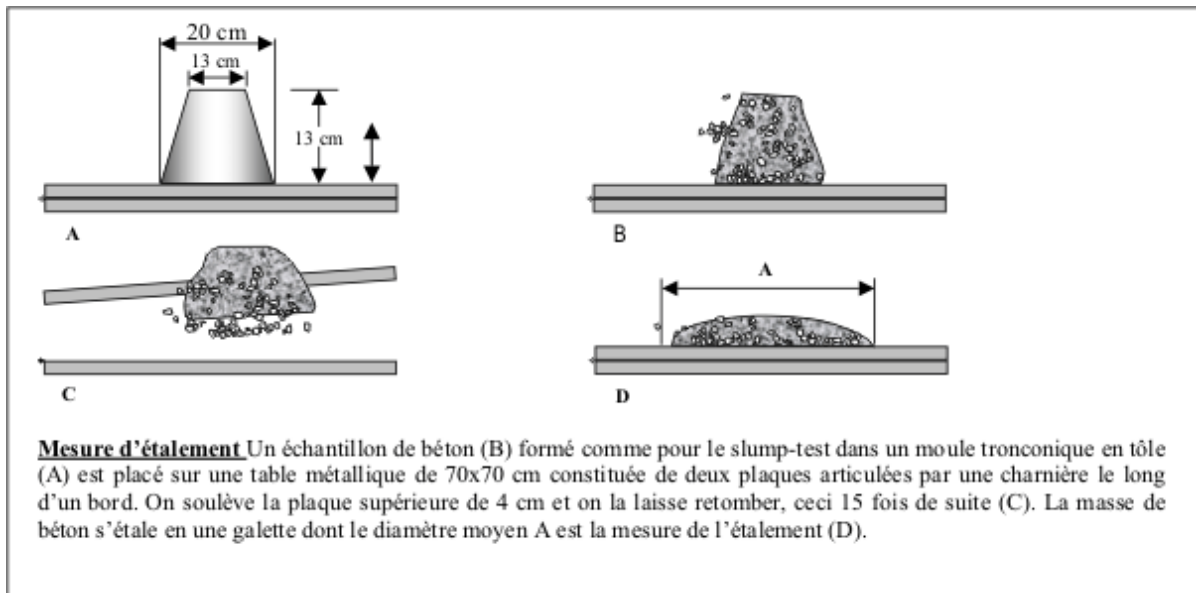


Figure I.6 La table à secousse [4].

C'est un essai très simple utilisable sur mortier ou sur béton (moules et tables de dimensions différentes), aussi bien en laboratoire que sur les chantiers. On peut pour le béton admettre les valeurs données dans le tableau 5.2.

Tableau I.5 les valeurs d'étalement à la table

<i>Ouvrabilité</i>	<i>Étalement à la table (%)</i>
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal	60 – 80
Mou	80 – 100
Très mou à liquide	>100

L'essai de maniabilimètre.

L'essai consiste à caractériser la consistance par la mesure du temps d'écoulement d'un béton ou d'un mortier soumis à une vibration.

Le béton ou le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison. Avec l'appareil B, il est mis en place par piquage en quatre couches ; avec l'appareil A, il est rempli sans tassement, à l'aide d'une pelle de terrassier. Après remplissage, il faut araser la surface libre à la règle. La mise en marche du vibreur (50 Hz) est provoquée par le retrait de la cloison. Au même instant le chronomètre est déclenché. On mesure la durée d'écoulement du matériau pour atteindre un repère donné [13].

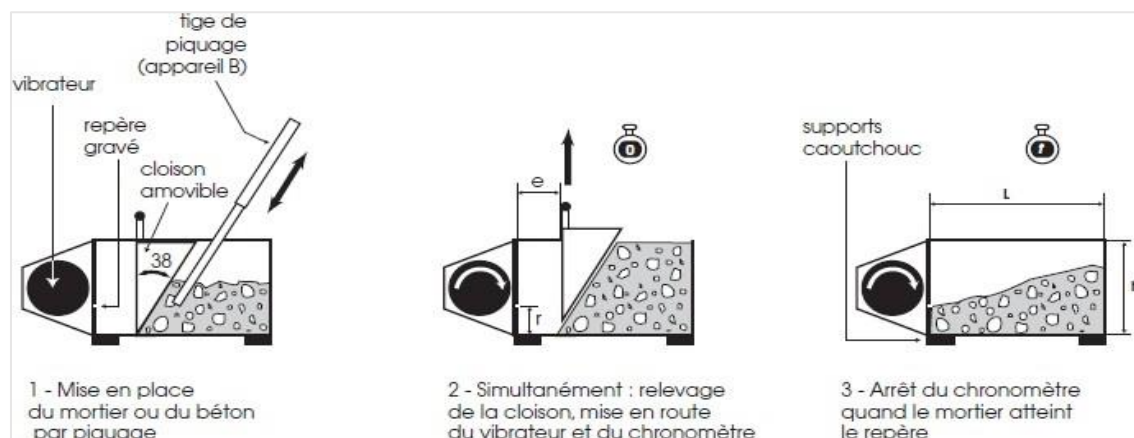


Figure I.7. Le maniabilimètre [4].

Le tableau ci-dessous donne les plages des valeurs correspondant aux différents types de béton.

Tableau I.6 La classification selon l'essai du maniabilimètre

Classe de consistance	Durées t (en s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

Caractéristiques principales du béton durcissant.

La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages.

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, le béton se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et, d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression [4].

La résistance en compression

La résistance en compression à 28 jours est désignée par f_{c28} . Elle se mesure par compression axiale de cylindres droits de révolution et d'une hauteur double de leur diamètre [4].

Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 ($d = 15,96$ cm) dont la section est de 200 cm^2 . La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres $d = 15$ cm de $H = 30$ cm.

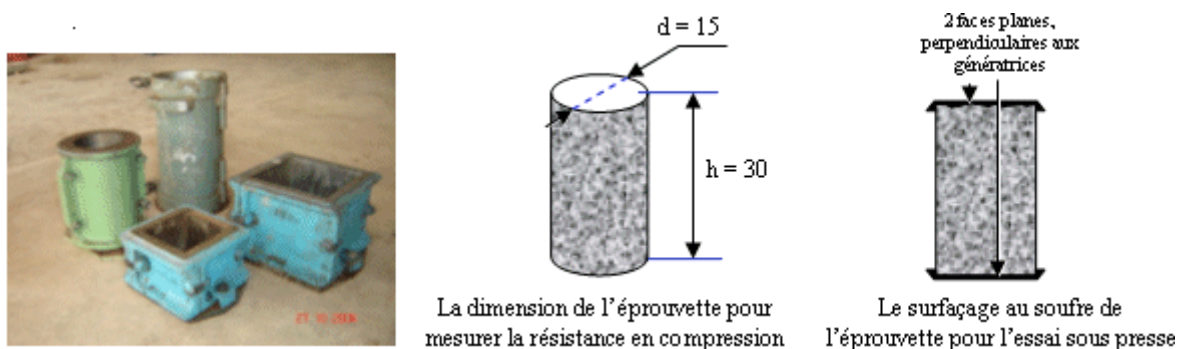


Figure I.8 les moules cylindriques et cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression [4].

La résistance en traction

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} [4].

➤ La résistance en traction - flexion

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élancement 4, reposant sur deux appuis.

- Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment

maximal au centre).

- Soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

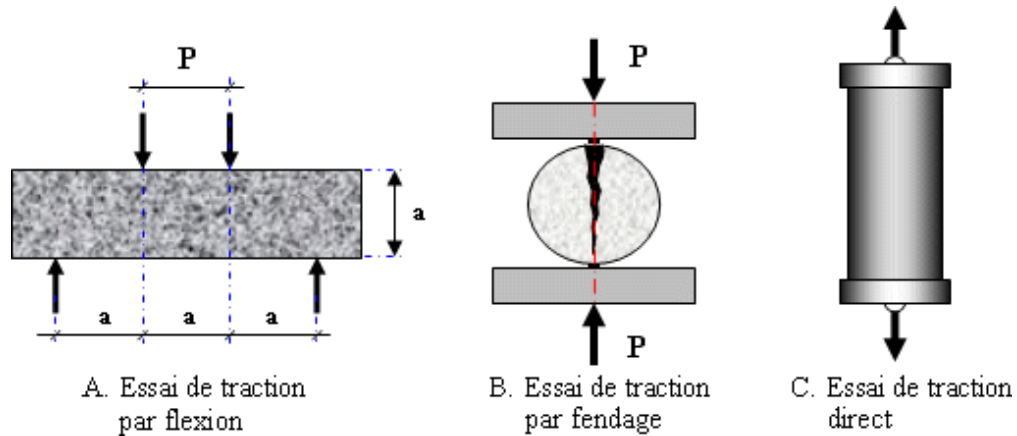


Figure I.9. Différents essais sur les résistances d'un béton en traction [4].

➤ La résistance en traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien". Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera :

$$f_{tj} = 2 \cdot \frac{P}{\pi DL}$$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ;
 D et L = diamètre et longueur du cylindre.

La déformation des bétons.

La résistance mécanique et la déformation sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non pas seulement pour la stabilité, mais aussi la durabilité des ouvrages. Lorsque le béton est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, il se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression. La résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées.

Le choix judicieux des matériaux, une mise en oeuvre correcte, l'adoption de dispositions constructives appropriées jouent un rôle essentiel dans l'art de construire. Toutefois, comme une partie importante de ses activités est consacrée aux problèmes de dimensionnement des constructions, l'ingénieur attache une importance particulière aux caractéristiques de résistance mécanique et de déformation des matériaux, car leur connaissance lui est indispensable pour réaliser des constructions à la fois sûres et économiques. Dès la fin de la mise en oeuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges [4].

Le retrait

C'est la diminution de longueur d'un élément de béton. On l'assimile à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.

Estimation du retrait : $\Delta l = 3 \text{ ‰} \times L$.

Δl – est le raccourcissement.

L – est la longueur de l'élément.

Si une corniche en béton armé a une longueur de 15 m, le retrait est de l'ordre de :

$$3 \text{ ‰} \times 15000 \text{ cm} = 0,45 \text{ cm}.$$

La dilatation

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à 1×10^{-5} , pour une variation de $\pm 20 \text{ °C}$ on obtient : $\Delta l = \pm 2 \text{ ‰} \times \text{longueur}$.

Pour chaînage en B.A. de 20 m de longueur et un écart de température de 20 °C , on a une dilatation de : $2 \text{ ‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$.

Le fluage

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau VISCO-ELASTIQUE. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage.

Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans.

Au bout d'un mois, les 40 % de la déformation de fluage sont effectués et au bout de six mois, les 80%. Estimation de la déformation de fluage [4]:

$\Delta l = 4 \text{ à } 5 \text{ ‰}$ longueur.

Cette déformation varie surtout avec la contrainte moyenne permanente imposée au matériau.

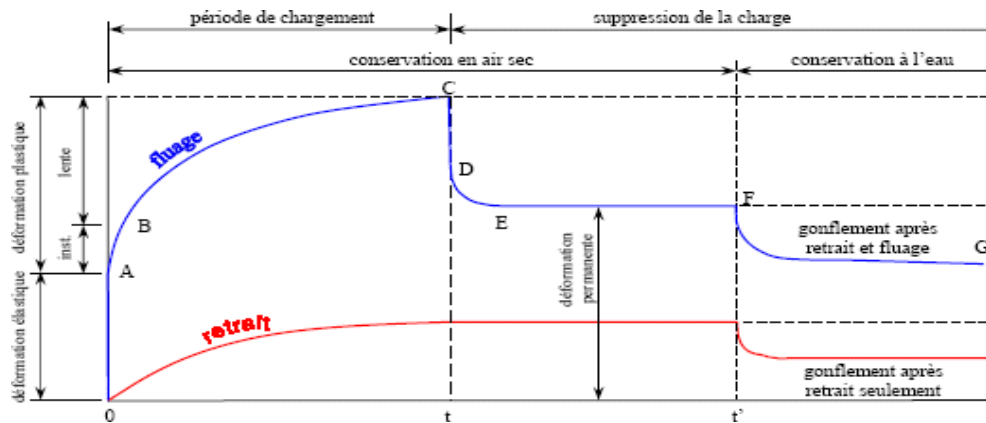


Figure I.10. Chargement et déchargement [4].

Élasticité du béton

Le module d'élasticité E est défini par le rapport [4]

$$E = \frac{\text{Contrainte unitaire}}{\text{Déformation relative}}$$

Pour les projets courants, on admet :

$E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3}$ (Module de déformation longitudinale instantanée du béton) avec f_{cj} = résistance caractéristique à « j » jours.

$E_{ij} = 3700 f_{cj}^{1/3}$ (Module de déformation différée) avec $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$.

Il s'ensuit que :

$$E_{vj} = \frac{1}{3} \cdot E_{ij}$$

Effet « Poisson »

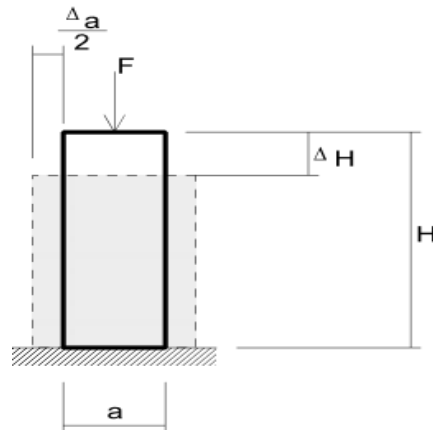
En compression comme en traction, la déformation longitudinale est aussi accompagnée d'une déformation transversale [13].

Le coefficient « Poisson » est le rapport :

Déformation transversale

Déformation longitudinale

Dont la valeur varie entre 0.15 et 0.3.



$$\nu = \frac{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)}{\left(\frac{\Delta \ell}{\ell}\right)}$$

Les nouveaux bétons

Les bétons ont connu, ces dix dernières années, une évolution technologique considérable. La compréhension des phénomènes physiques, chimiques et physico-chimiques qui sous-tendent le comportement du béton, les évolutions de la chimie minérale et organique en particulier ont permis des avancées spectaculaires en matière de formulation, de maîtrise de la rhéologie des bétons à l'état frais et de durabilité des bétons à l'état durci.

Ces nouveaux bétons répondent à tous les enjeux actuels en matière de mise en œuvre, de sécurité, de santé, de confort et d'esthétique, en alliant compétitivité économique, durabilité, et respect de l'environnement [29].

Les bétons auto-plaçants, qui se mettent en place sans vibration

Les bétons auto-plaçants (BAP), bétons mis en œuvre sans vibration, constituent l'une des plus importantes innovations de la dernière décennie en matière de construction. Sur les chantiers comme dans les usines de préfabrication, ces bétons offrent de multiples avantages, liés à leurs caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages [29], [5]:

- Facilité de mise en œuvre.
- Amélioration des conditions de travail, et de la sécurité des ouvriers.
- Réduction des temps de bétonnage et les délais de réalisation des chantiers.
- La suppression de la vibration des bétons (aiguilles vibrantes, vibreurs).
- Amélioration de la productivité.

Les BAP présentent des résistances et une durabilité analogue à celles des bétons mis en œuvre par vibration. Ils affirment leurs performances au fil des chantiers.



Figure I.11 Béton auto-plaçant [29].

Les bétons de bois

Les écrans acoustiques en béton sont la solution reconnue, par traitement à la source, particulièrement efficace, économique, esthétique et pérenne aux problèmes générés par les bruits routiers, autoroutiers et ferroviaires. Les écrans les plus utilisés sont constitués de béton de bois. Les bétons de bois sont constitués de fibres de bois enrobés dans une matrice cimentaire (éventuellement teintés dans la masse par des pigments). Leurs performances leur confèrent une grande efficacité pour l'absorption de l'énergie sonore [29].

Utilisation des bétons de bois

Ils sont utilisés pour la réalisation d'écrans acoustiques de type absorbants. La variété des textures, des teintes et des formes permet une offre très diversifiée [29]:

- dalles habillant les parois pour la réalisation d'ouvrages neufs,
- dalles habillant les parois pour améliorer les performances d'ouvrages existants réfléchissants.
- panneaux autoportants formant écran.
- dalles habillant les extrémités de tunnels

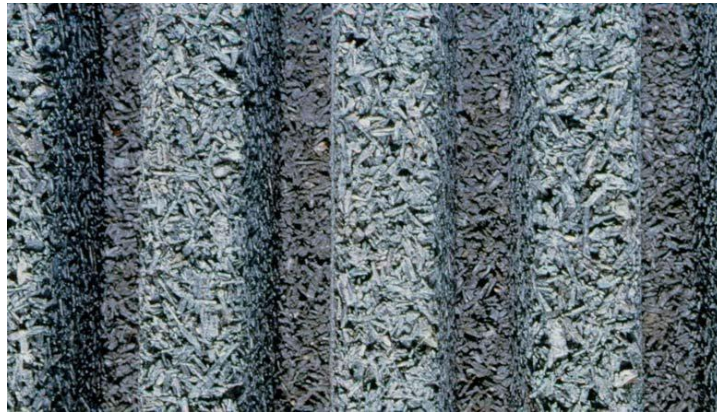


Figure I. 12 Béton de bois [29].

Les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP)

Les bétons fibres à ultra-hautes performances (BFUP) sont des matériaux à matrice cimentaire, renforcés par des fibres.

Leurs formulations font appel à des adjuvants super plastifiants, des ultrafines et des compositions granulaires spécifiques, ainsi qu'à des fibres.

Les BFUP offrent des propriétés et des performances exceptionnelles [29], [5].

- une très grande ouvrabilité,
- de hautes résistances à court terme,
- des résistances à la compression à 28 jours très élevées entre (150 et 250) MPa,
- des hautes résistances en traction,
- une ductilité importante,
- un retrait et un fluage très faible,
- une faible perméabilité,
- une grande résistance à l'abrasion et aux chocs,
- des aspects de parements particulièrement esthétiques et une texture de parement très fine.

L'évolution des BFUP se caractérise par :

- leurs très grandes résistances en compression, mais aussi en traction,
- leur fort dosage en ciment (700 à 1000 kg/m³) et en adjuvants,
- l'utilisation de granulats de faibles dimensions,
- une teneur en eau beaucoup plus faible.
- la présence de fibres à un taux élevé.
- très faible porosité : microstructure très dense, faible perméabilité.
- un faible risque de corrosion des armatures

Utilisation des bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP)

Les BFUP sont utilisés pour les ouvrages situés dans des environnements agressifs. Ils permettent une réduction très sensible des frais de maintenance et d'entretien des ouvrages.

Les BFUP permet d'obtenir des textures très variées et des parements présentant d'excellentes qualités esthétiques.

Les BFUP compte tenu de leurs multiples propriétés et performances ouvrent de grandes perspectives d'applications pour les ouvrages nécessitant résistances importantes et durabilité. Ils répondent aux évolutions majeures de la construction en permettant d'optimiser les dimensionnements (augmentation des portées, réduction extrême de la matière), de réduire les coûts globaux des ouvrages, d'améliorer l'esthétique des parements [29], [5].



Figure I. 13 béton fibrés à ultra-hautes performances [29]

Les bétons armés d'inox

Les aciers inox sont des aciers (alliages de fer et de carbone) qui ont la particularité de contenir obligatoirement au moins 10,5 % de chrome et au maximum 1,2% de carbone. Ils résistent à la corrosion grâce à un film passif très mince, qui se forme spontanément à leur surface, qui protège le substrat métallique, et qui a la particularité d'être auto-reconstituant s'il est endommagé.

La substitution (partielle ou totale) des aciers au carbone par des armatures inox s'impose désormais [29]:

- pour des ouvrages exposés à des risques de corrosion,
- pour augmenter la durée d'utilisation des ouvrages,
- pour réduire la maintenance et l'entretien des structures. Les armatures inox présentent des atouts :
 - optimisation du volume de béton (enrobage réduit),
 - optimisation de la quantité d'armatures.
- optimisation du poids des produits préfabriqués en béton.
- réduction de la maintenance,
- réduction des frais d'exploitation ;

- conservent durant toute la durée de service de l'ouvrage un aspect homogène sans altération.



Figure I. 14 Armature en Inox [29]

Les bétons autonettoyants et dépolluants

Les bétons autonettoyants et les bétons dépolluants utilisent le principe de la photocatalyse. La photocatalyse est un phénomène naturel dans lequel une substance, appelée photocatalyseur, initie une réaction chimique sous l'action de la lumière. Lors de la réaction le catalyseur n'est ni consommé, ni altéré. La réaction est donc pérenne.

Le photocatalyseur en utilisant l'énergie lumineuse, l'eau et l'oxygène de l'air, engendre la formation de molécules très réactives capables de décomposer par oxydo-réduction certaines substances organiques et inorganiques présentes dans l'atmosphère en composés inertes [29]. La photocatalyse permet aussi de réduire les impacts de la pollution atmosphérique en éliminant les molécules de polluants.

Le catalyseur généralement utilisé est le dioxyde de titane : TiO_2

Utilisation des bétons auto-nettoyants et dépolluants

Les bétons dépolluants sont donc particulièrement adaptés pour la réalisation d'ouvrages proches des axes routiers : écrans acoustiques, murs de soutènement, parements de tranchées couvertes, entrées de tunnels [29].



Figure I.15 Eglise de Jubilé, ROME et un mur anti bruit en béton auto-nettoyant [29].

Les bétons de fibres polypropylène

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. A la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement homogène. Les fibres confèrent au béton des performances liées à leurs formes, leur nature et à leurs caractéristiques mécaniques et géométriques.

On distingue 3 grandes familles de fibres :

- les fibres métalliques : acier, inox, fonte ;
- les fibres organiques : polypropylène, polyamide, acrylique, kevlar ;
- les fibres minérales : verre, carbone.

Une nouvelle propriété des bétons fibrés a été mise en évidence ces dernières années : la tenue au feu des bétons de fibres de polypropylène.

Les fibres de polypropylène constituent un moyen efficace pour limiter l'éclatement de surface d'un béton soumis à une élévation de température ou à une température excessive lors d'un incendie [29].

Les bétons de parement

Les bétons sont devenus grâce aux qualités esthétiques et aux possibilités créatives qu'ils offrent, les matériaux essentiels du cadre de vie pour le confort et le bien-être de tous.

La variété de traitements de surface sur béton frais ou sur béton durci permet d'enrichir la qualité esthétique de tous les ouvrages. Le béton peut être rugueux, lisse ou poli selon la technique de traitement de surface qu'on lui applique. La surface peut comporter des creux, des incrustations et des reliefs ou reproduire des motifs décoratifs [29], [5].



Figure I. 16 Béton de parement [29].

Chapitre III. Les produits céramiques

Définition :

La racine grecque du mot céramique est « Kéramos » qui signifie « argile ». C'est un produit issu de la cuisson d'une terre argileuse qui peut être émaillée ou vitrifiée en surface pour donner des produits céramiques : la faïence, de la porcelaine...etc.

Une céramique est un matériau solide de synthèse et qui nécessite souvent des traitements thermiques pour son élaboration.

La plupart des céramiques sont des matériaux polycristallins, c'est à dire comportant un grand nombre de microcristaux bien ordonnés (grains) reliés par des zones appelées (joins de grains) comme illustré en Figure 2.1

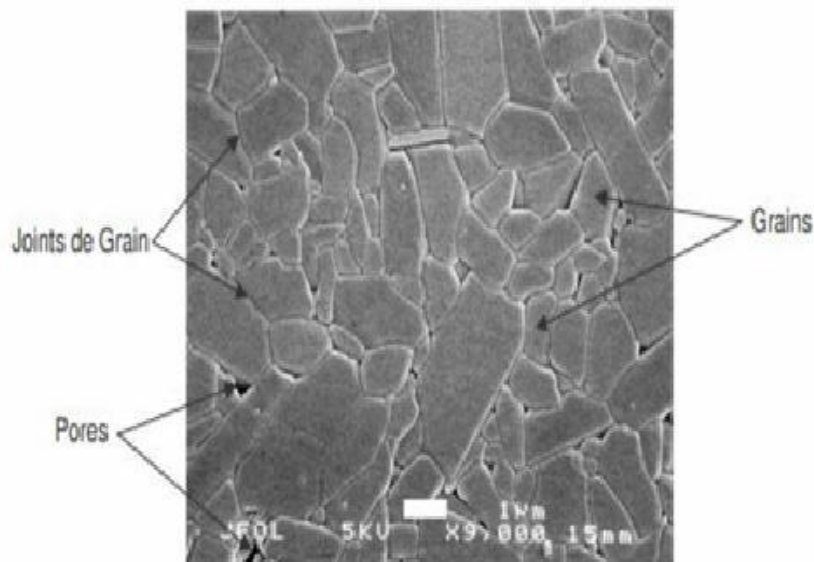
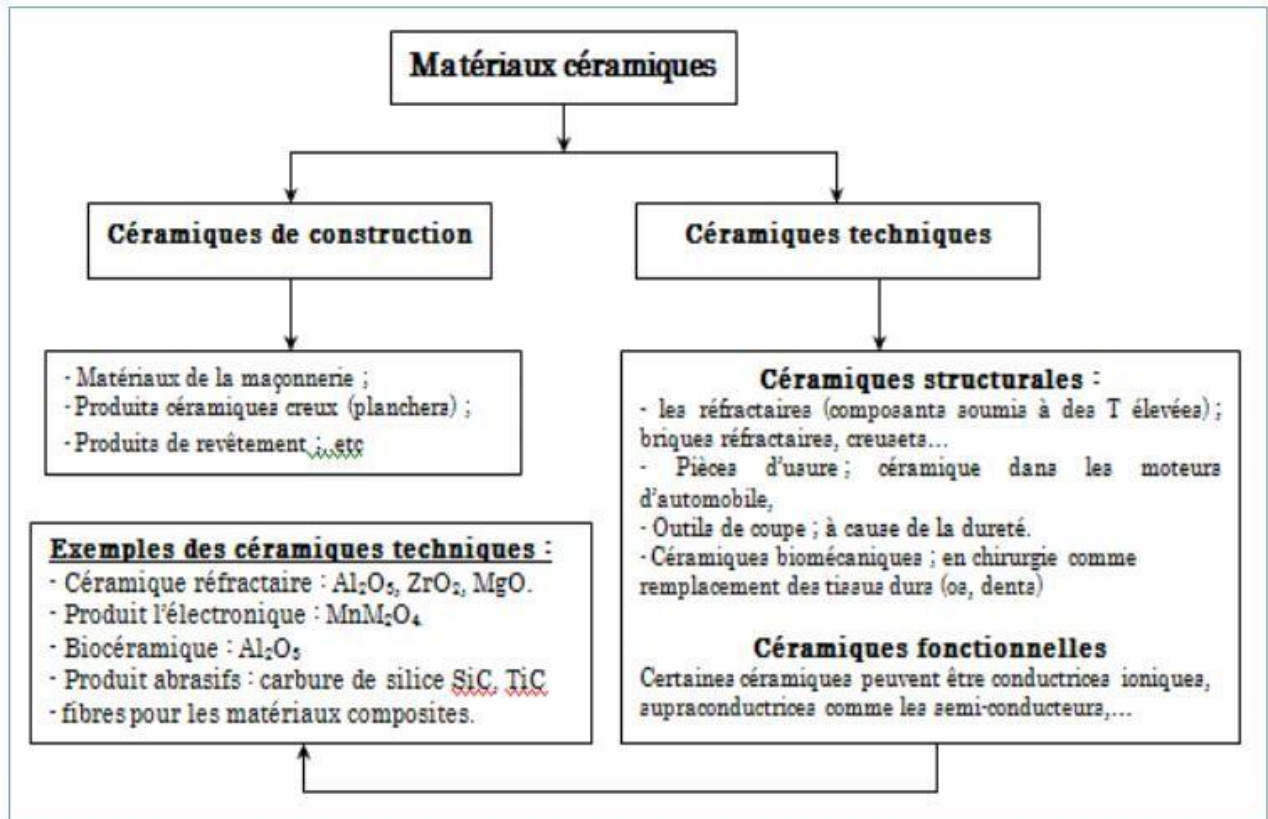


Figure II.1 Microstructure typique d'une surface céramique

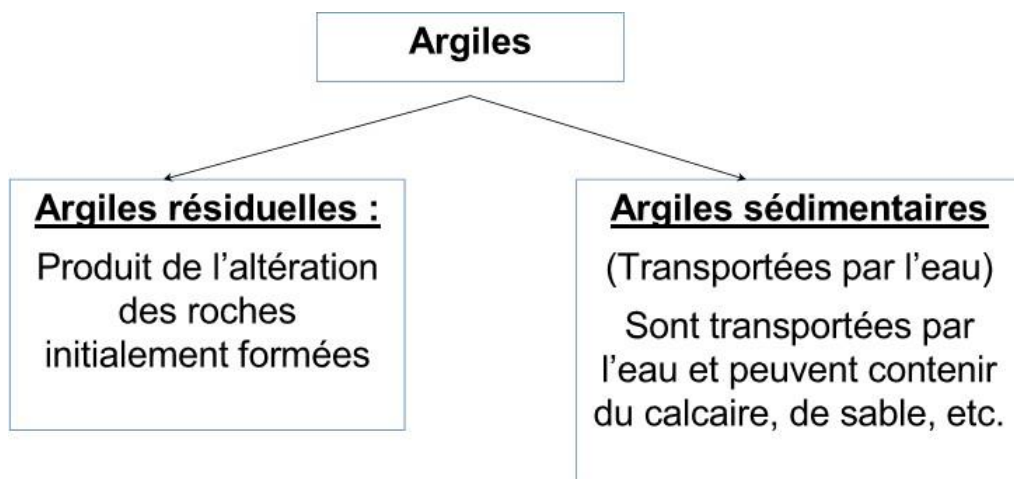
Classifications des matériaux céramiques :

On distingue deux grandes classes des céramiques [15].



Les matières premières :

Les argiles sont subdivisées comme suit [15] :



Les grandes caractéristiques des céramiques :

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par [15] :

- Une très bonne tenue en température.
- Une excellente rigidité élastique.
- Une bonne résistance à la corrosion.
- Une bonne résistance à l'usure.

Les produits céramiques dans la construction

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine du génie civil, car, suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes des autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc....

Les terres cuites

Composé d'argiles légèrement calcaires, le mélange est cuit à une température relativement basse (800 à 1000 °C). La terre cuite ainsi obtenue est un matériau ordinaire, peu dur et poreux, qui résiste mal aux chocs. Elle est utilisée pour le gros œuvre sous forme de briques (pleines ou creuses), de tuiles, de boisseaux de cheminée et autres éléments comme les hourdis de planchers et de toitures. La terre cuite est un bon isolant. Ses teintes variées dont les couleurs chaudes vont du beige clair au brun-rouge sont un atout majeur pour réaliser des revêtements de sols ou de murs très décoratifs. On utilise, pour ces revêtements, des carreaux ou des dalles de terre cuite, aux formes et aux dimensions multiples (carré, hexagone, trèfle, losange...) qui permettent d'exécuter un carrelage aux dessins réguliers. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ce genre de revêtement se tache facilement et qu'il n'a pas une grande résistance à l'usure.



Figure II.2 Terre cuite



Figure II.3 Carrelage en terre cuite

Les faïences

Les faïences sont des terres cuites recouvertes en surface d'un émail qui les rend imperméables aux liquides. La fabrication s'effectue en deux stades : d'abord établissement et cuisson de l'objet, appelé alors "biscuit de faïence", puis émaillage et nouvelle cuisson pour durcir le décor. Suivant la composition de la pâte et la nature de l'émaillage, on obtient des faïences différentes. Elles servent à l'exécution de poteries culinaires, de vaisselle plus ou moins décorée, d'appareils sanitaires ou de carreaux de revêtement. Si par émaillage la faïence est rendue imperméable, elle reste toutefois fragile et sensible aux brusques changements de température. C'est pourquoi les carreaux de faïence, qui offrent un choix de couleurs et de motifs variés, ne sont utilisés qu'en revêtement mural. Faciles à entretenir, ils ne sont pas attaqués par les acides et ne se rayent que difficilement. Ils sont couramment employés pour protéger les murs des locaux humides (salles de bains, cuisines, etc.) ou pour créer une note décorative sur une table ou sur un plan de travail. En principe, ils résistent à la chaleur, veillez cependant à ne pas les exposer à une température trop élevée qui ferait fissurer l'émail et enlèverait au carreau ses qualités d'étanchéité.

Les carreaux de faïence sont en général de forme carrée (150 mm x 150 mm ou 108 mm X 108 mm) ou rectangulaire (100 mm x 150 mm), et d'une épaisseur assez faible, de 4 à 6 mm. Vous pourrez constater que, parmi les nombreuses fabrications présentées sur le marché, il existe parfois une énorme différence de prix de vente. Cela provient du mode de fabrication des carreaux qui peuvent être soit émaillés en continu sur une chaîne automatique (carreaux, unis, jaspés...), soit émaillés, puis décorés à la main un par un pour reproduire un motif donné. Ce dernier procédé (encore utilisé de nos jours et dans la plus pure tradition artisanale) est évidemment d'un coût plus élevé.



Figure II.4 Les faïences

Les grès

Ils sont composés d'une pâte argileuse, additionnée de minéraux riches en feldspath. Ce mélange est cuit à une température voisine de 1300 °C, température à laquelle les fondants, ainsi que le feldspath, provoquent la vitrification de la pâte. C'est ce phénomène qui assure au grès son imperméabilité, sa bonne résistance aux chocs et aux agents chimiques et sa très grande dureté (il raye le verre). Ces qualités permettent de l'employer dans l'équipement ménager (plats de cuisson, vases, etc.), mais aussi dans l'équipement des habitations : tuyaux d'écoulement d'appareils sanitaires ou revêtements de sols et de murs. Les grès se présentent sous différentes formes.

Carreaux de grès ordinaire ou grès cérame

Étant donné sa dureté, un carrelage de grès cérame est pratiquement inusable. Sa non-porosité le rend insensible aux taches, et, comme il n'absorbe pas l'eau, il ne craint pas le gel. Il peut donc être utilisé à l'extérieur pour recouvrir une loggia, une terrasse ou même une piscine.

Employé surtout pour les sols, il peut revêtir les murs avec la même endurance ; son entretien est pratiquement nul.



Figure II.5 Dalle en grès cérame



Figure 2.6 Revêtement de mur et de sol en grès cérame

Carreaux de grès émaillé

De même composition que le grès cérame, les carreaux de grès émaillé présentent une surface émaillée comme s'il s'agissait d'un carreau de faïence. L'apport d'oxydes métalliques permet d'obtenir des nuances variées qui n'existent pas dans le grès cérame naturel. La surface émaillée est parfois trop lisse et trop brillante pour un emploi en revêtement de sol. On préfère, dans ce cas, une utilisation murale, d'autant plus qu'il existe une très grande variété de couleurs et de motifs sur le marché .



Figure II.7 Carrelage en grès cérame émaillé

Carreaux de demi-grès

La conception de base est la même que pour le grès cérame, mais la cuisson s'effectue à une température plus basse (1100 °C), ce qui n'assure qu'une vitrification partielle de la pâte. Le produit obtenu est légèrement moins dur qu'un grès cérame et il est parfois légèrement poreux, c'est la raison pour laquelle il est préférable de ne pas l'utiliser comme revêtement extérieur. Les dimensions des carreaux de grès sont très variables. Suivant le type de revêtement à exécuter (sol ou mur), on peut disposer de petits éléments de 1 à 2 cm de côté, de carreaux ayant sensiblement les cotes d'un carreau de faïence, ou de dalles carrées ou rectangulaires d'une surface plus imposante [24].

Les briques et ses différentes sortes

Les briques, depuis longtemps, sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction. La fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique industrielle stabilisée [16].

Briques en terre crue.



Figure II.8 Briques en terre crue [25].

Briques en terre cuite.



Figure II.9 Briques en terre cuite [25].

Mode de fabrication :

La fabrication d'une brique moderne passe par les grandes étapes suivantes [16]:

- Extraction de l'argile rouge et de l'argile verte. On mélange environ 10 % d'argile verte avec 90 % d'argile rouge. La terre argileuse, généralement extraite à proximité de la briqueterie, ne peut pas inclure trop de sable



Figure II.10 L'extraction de la matiere première [16].

- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée.
- Humidification et mélange des divers types de terres ; ajout d'une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite facilite l'extrusion.
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage.
- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre vingt et cinquante heures), Cuisson à environ 900 °C, pendant trente heures.
- Éventuellement rectification (fraisage des bords jointifs pour faciliter le montage).



Figure II.11 Coupage de brique [16]

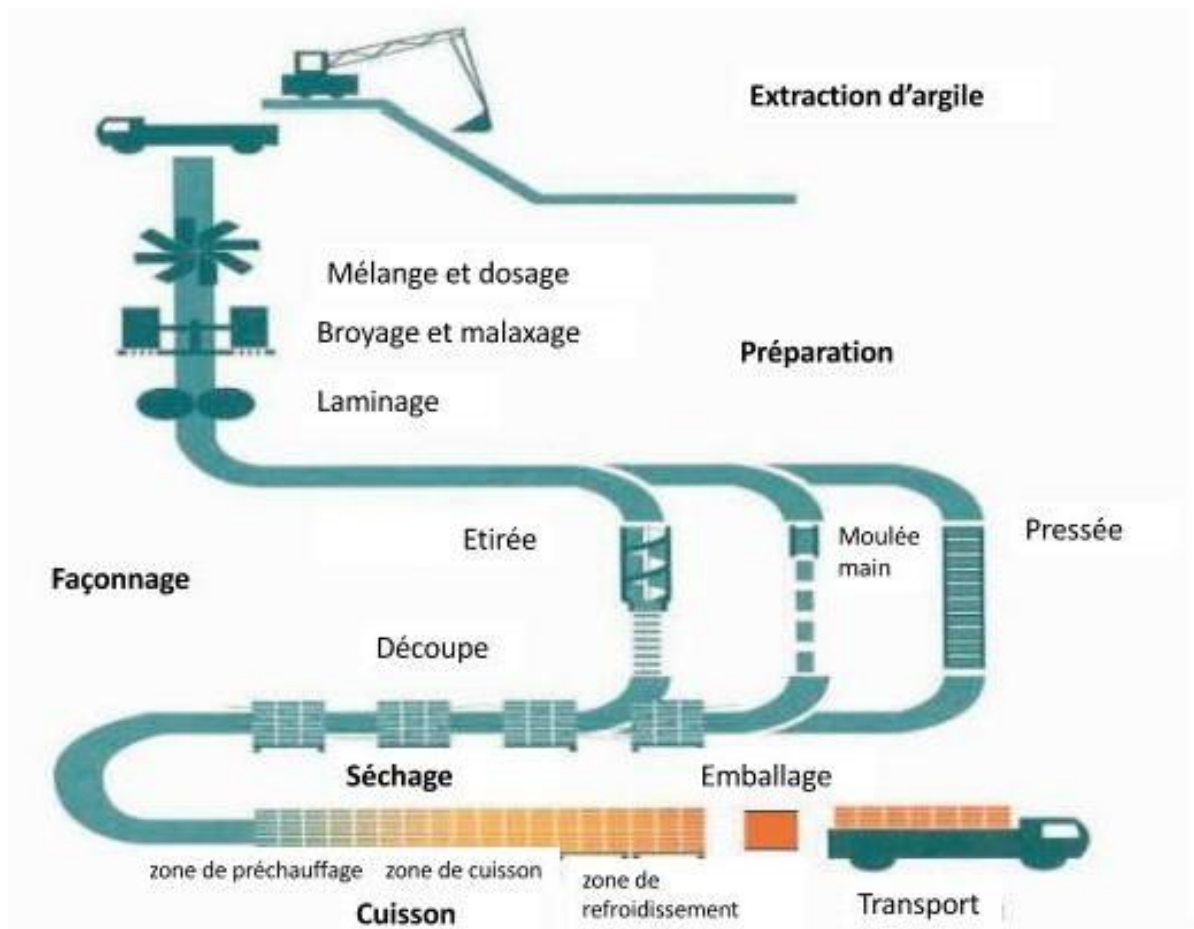


Figure II.12 Les étapes de fabrication de brique [25].

Les produits :

Sont des briques pleines ou perforées en terre cuite selon la Norme (XP P 13-305) sont composants en trois catégories de produits [16]:

Brique pleine :

Brique ne comportant aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est 6x11x22 cm.

Brique perforée :

Brique comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, la somme des sections des perforations étant inférieure ou égale à 50% de la section totale, et de largeur inférieure à 14 cm.

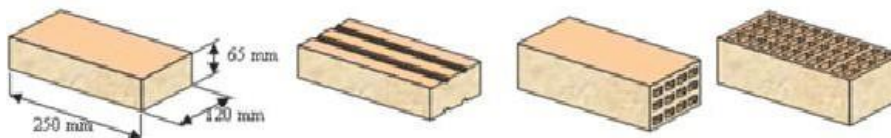
Bloc perforé :

Brique de grand format, permettant de réaliser toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément, comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose, dont la largeur est au moins de 14 cm, dont la hauteur est inférieure ou égale à 30 cm et dont la plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm. La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 60% de la section totale.

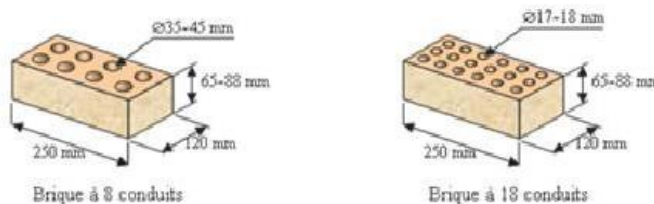
Brique creuse de terre cuite :

(Norme NF P 13-301) On distingue deux types de briques creuses :

- Type C : Briques à faces de pose continues, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux continus.
- Type R.J : Briques dites “ à Rupture de Joint ”, destinées à être montées a joints de mortiers horizontaux discontinus.



Briques pleines et perforées



Briques perforées

Figure II.13 Briques pleines et perforées [16]

Couverture :

Ensemble des matériaux et des ouvrages qui constituent la surface extérieure d'un toit. Il existe différents types de matériaux de couverture tels que les tuiles, les bardeaux bitumés [23], [14].

La tuile : élément de couverture de formes et de dimensions variables en terre cuite ou en béton. Les tuiles s'assemblent entre elles par recouvrement et/ou emboîtement. Il existe plusieurs modèles de tuiles dont les principaux types sont détaillés ci-après.



Figure II.14 La couverture des toitures

La Tuile Terre Cuite est fabriquée à partir d'argile et de sable, matières nobles et inépuisables. La Tuile Terre Cuite est un produit sain par excellence, qui cumule toutes les qualités :

- Solide,
- Résistance aux intempéries, les tuiles terre cuite sont garanties 30 ans contre le gel et la dégradation d'aspect, elles sont bien évidemment imperméables, et supportent des vents jusqu'à 200km/h...
- Résistance aux pollutions de l'air (pluies acides...)
- Résistance des couleurs.
- Caractéristiques géométriques (dimensions, rectitude et planéité) étudiées pour de bons emboîtements et une bonne étanchéité
- Facilement recyclable,

Tuile CANAL : c'est la plus ancienne des tuiles, inventée par les Chinois en 2700 avant J-C. Elle est particulièrement adaptée aux toits à faible pente (max. 8%) des régions ensoleillées, permettant aux maisons généralement basses de conserver une certaine fraîcheur venant du sol. Idéalement adaptée aux conditions climatiques du Sud, la tuile canal permet l'évacuation rapide des eaux de pluie [23], [14].



Figure II.15 La tuile canal

Tuile PLATE : très répandue depuis le VIII^{ème} siècle, elle s'adapte aux pentes fortes (jusqu'à 50%) qui favorisent l'écoulement des eaux de pluies et des neiges d'hiver. La toiture devient ainsi beaucoup plus étanche. En outre, la tuile plate convient particulièrement aux toits à géométrie complexe [23], [14].



Figure II.16 La tuile plate [14].

Tuile À EMBOÎTEMENT : elle présente l'avantage de remplacer le principe traditionnel du recouvrement par des emboîtements moulés qui facilitent l'évacuation des eaux de pluie et autorisent des toits moins pointus. Elle diminue le nombre d'éléments / m². Sa facilité

d'installation, la réduction de son temps de pose et son coût en font la tuile la plus courante sur tout le territoire avec deux variétés [23], [14]:



Figure II.17 La tuile à emboîtement [26].

- **Grand moule :** Que ce soit faiblement galbé, fortement galbé ou à pureau plat (c'est-à-dire à aspect plat), c'est aujourd'hui la famille de tuiles la plus répandue, présentant l'avantage à la fois de respecter l'esthétique traditionnelle tout en atteignant le record d'efficacité de seulement 10 tuiles au m² [14].



- **Petit moule :** A la fin du 19^{ème} siècle, les tuiles dites « flamandes » dotées d'une forme en S sont détrônées par la tuile à emboîtement petit moule « à cornet » (20 tuiles au m), qui convient parfaitement aux petites surfaces très pentues [14].





Techniques de fabrication des tuiles

4 phases sont [26] :

- La préparation de l'argile
- Le façonnage
- Le séchage
- La cuisson

Le support de couverture :

Désigne l'ensemble des éléments sur lesquels viennent se fixer les matériaux de couverture. On distingue : Les voliges, Les liteaux, Les chevrons à section triangulaire,

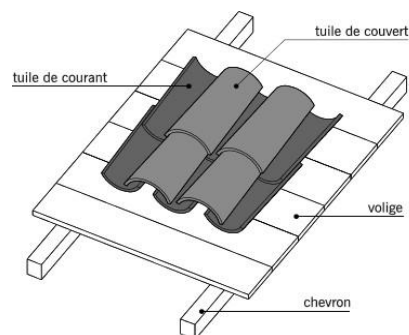


Figure II.18 Tuile canal posée sur voliges [23].

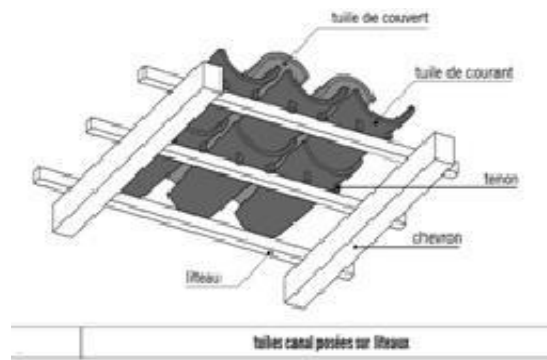


Figure II.19 Tuile canal posée sur l'inteaux [23].

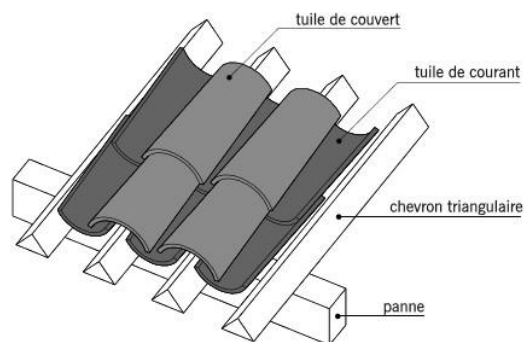


Figure II.20 Tuile canal posée sur cheverons triangulaires [23].



Figure II.21 Le support de couverture en bois [26].

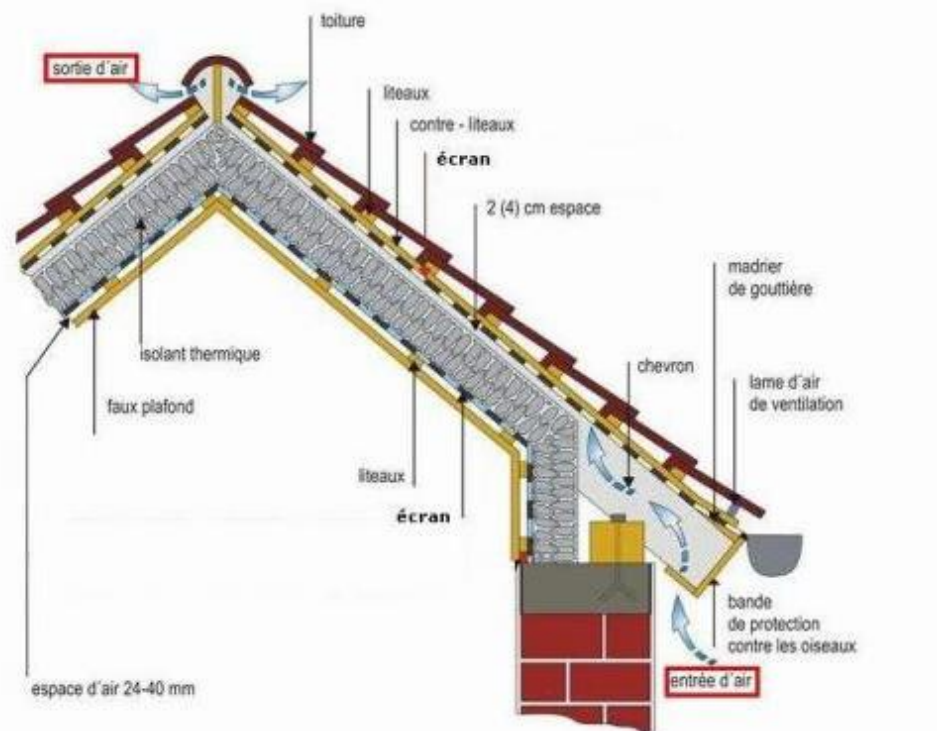


Figure II.22 Les différents couches d'une toiture [26].

Définition de la céramique sanitaire

Ce sont des produits céramiques destinés aux usages domestiques : cuvettes de WC, lavabos, baignoires, douches, bidets, urinoirs, évier, etc.

Schématiquement, les matériaux constitutifs des appareils sanitaires peuvent se classer en deux catégories [32] :

- la porcelaine (porcelaine sanitaire et vitréous), qui est un produit à masse compacte, vitrifiée ; la vitrification se traduit par une cassure vitreuse ; elle se définit par le pourcentage d'eau absorbée moyen ;
- le grès sanitaire, qui est un produit à masse réfractaire, additionnée éventuellement de chamotte et dont la cassure présente des grains plus ou moins gros.

Un revêtement d'émail est appliqué sur toute ou sur une partie de la surface de l'appareil qui est ensuite cuit à une température appropriée, afin d'obtenir par vitrification une surface imperméable de couleur et de brillant souhaités.

L'émail peut être blanc ou de couleur, opaque ou translucide et doit résister à l'action d'une solution d'acide citrique. Par contre, il ne résiste pas à celle de l'acide fluorhydrique et à ses composés.

Enfin les appareils de céramique sanitaire sont incombustibles et résistent aux solvants.



Figure II.23 La céramique sanitaire

Caractéristiques d'aptitude à l'emploi

Quelle que soit leur nature, les appareils de céramique sanitaire doivent satisfaire aux caractéristiques d'aspect, physiques et chimiques fixées par des normes nationales et européennes [32].

Leur aptitude à l'emploi est caractérisée par les méthodes d'essais normalisés suivantes :

- résistance à l'abrasion ;
- résistance aux chocs ;
- résistance aux charges statiques ;
- contrôle dimensionnel et d'aspect ;
- résistance aux acides à température ambiante ;
- résistance aux alcalins à chaud ;
- résistance aux agents chimiques domestiques et aux taches ;

- contrôle de la continuité de la couche d'émail.

La technique de fabrication de la porcelaine sanitaire

La **porcelaine sanitaire** est une variété de céramique, qui se différencie par ses matières premières, sa cuisson et son émaillage. Au départ, la porcelaine est une pâte, composée d'un mélange de kaolin (50 %), de feldspath (25 %) et de quartz (25 %). Elle passe ensuite à l'étape du façonnage par moulage, pour réaliser par exemple un modèle de **vasque à poser** ou de lavabo à l'identique. Après façonnage, les pièces de porcelaine sanitaire passent en séchage pour être déshydratées et recouvertes d'émail par pulvérisation ou trempage dans un bain liquide.

La cuisson à 1290°C permet ensuite à l'émail de se fixer et d'imperméabiliser la matière : c'est l'étape de vitrification qui apporte la translucidité. Toute cette alchimie devient une matière noble, aux qualités remarquables [31]:

La porcelaine. Désormais blanche et imperméable, elle est prête à recevoir différentes techniques de décoration, comme le tracé à main levée ou l'impression en chromo.

Des ajouts de produits destinés à modifier les caractéristiques de la pâte de plâtre gâché ou les qualités finales de l'enduit sont alors effectués.

Le plâtre ainsi parvenu à l'état de poudre d'une granulométrie bien déterminée est entreposé dans des silos. Il peut être expédié directement en vrac dans des camions conteneurs, ou mis en sacs kraft de 40 kg par des machines automatiques rapides (60 t à l'heure) et précises. Le chargement est effectué directement sur camion ou wagon à l'aide de transporteurs munis d'un tapis télescopique. Le plâtre stocké quelques jours parfait son homogénéisation et subit un vieillissement favorable à sa qualité.

4.1.4 Contrôles de fabrication

La marche des appareils de production est contrôlée en permanence et régulée par des cabines de télécommande. Au sortir des fours et avant la mise en silo, les caractéristiques chimiques et physiques du produit sont contrôlées 24 h sur 24.

Ces contrôles portent notamment sur la granulométrie, les temps de prise et les résistances mécaniques en flexion et en compression. Les contrôles effectués varient selon la nature des plâtres fabriqués. Ils sont destinés à garantir, dans tous les cas, le respect des caractéristiques souhaitées par l'utilisateur.

4.2 À partir de gypses de synthèse

Le gypse de désulfuration constitue la principale matière première pour la fabrication de plâtres et produits en plâtre. Les phosphogypses sont en voie d'abandon en raison des problèmes techniques et économiques qu'ils posent et les autres variétés de gypse chimique (borogypse, titanogypse...) sont produits en quantité trop faible pour justifier un investissement relativement lourd.

Après avoir été extrudés, ces carreaux sont saisis par une pince automatique qui les dépose sur des chariots montés sur rails. Ces chariots sont introduits dans des séchoirs qui ramènent l'humidité des carreaux à moins de 5 %. Il est nécessaire d'éliminer environ 30 kg d'eau par mètre carré de cloison (6 cm d'épaisseur). Sachant qu'une unité de fabrication permet de produire 1 000 à 2 000 m²/j,

il faut évaporer de 30 000 à 60 000 kg d'eau quotidiennement. Les principes communs à tous les séchoirs industriels existants sont les suivants :

- Ils sont continus – du type tunnel avec avance automatique des chariots portant des carreaux ;
- Un espace est laissé entre les carreaux avant introduction dans le séchoir afin de faciliter la circulation de l'air ;

- La chaleur est apportée par l'air en mouvement.

Le chauffage de l'air se fait soit par combustion directe du gaz (séchage dans les gaz de combustion), soit par échange sur des batteries chauffées par fluide caloporteur (séchoir classique comportant une chaudière indépendante fonctionnant en général au fioul). Le profil de température le long du séchoir est assez plat, dépassant rarement 100 °C. Le temps de séjour des carreaux dans un séchoir varie de 20 à 35 h suivant l'épaisseur du carreau.

Certains séchoirs ont la forme de tunnels de 40 à 60 m de long, une largeur de 5 à 8 m et une hauteur de 3 à 5 m. Les générateurs d'air chaud sont soit au-dessus, soit sur le côté. D'autres ont une forme en U avec entrée et sortie dans le même bâtiment, ce qui permet de diviser la longueur totale du séchoir, mais en doublant sa largeur.

Le séchoir est un élément essentiel dans la fabrication des carreaux puisque la dépense en énergie pour sécher un carreau représente 25 % de son prix de revient.

À la sortie du séchoir, les carreaux sont repris sur les chariots par des pinces automatiques et déposés sur des tables de palettisation. Cette opération consiste à disposer les carreaux sur des palettes dont les plus importantes mesurent 1,2 m × 1 m et peuvent supporter jusqu'à quatre-vingts carreaux de 7 cm d'épaisseur. Ensuite, ces carreaux sont soit cerclés, soit mis sous housse rétractable afin d'assurer d'une part la stabilité de ces piles de carreaux et, d'autre part, leur protection contre les intempéries dans le cas du houssage.

La **colle** [C 960] nécessaire au montage des cloisons en carreaux de plâtre est fabriquée dans des ateliers de mélange spécifique. Elle est composée de plâtre à mouler et d'adjuvants tels que rétenteur d'eau, colles, retardateur de prise, épaississant, agent anticryptogamique) et peut comporter parfois une charge inerte (carbonate...).

Plaques

Nota : la description des plaques de plâtre fait l'objet du paragraphe [6.2](#).

Les usines de plaques de plâtre disposent en général de leurs propres installations de fabrication en continu du plâtre nécessaire à la production des plaques.

Le plâtre est fabriqué suivant le procédé de broyage et calcination de gypse naturel ou d'origine chimique selon les usines. Il est mélangé aux différents ajouts solides, puis aux ajouts liquides et à l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte fluide qui est ensuite coulée entre deux feuilles de carton spécial. Deux bobines de carton sont déroulées en continu, l'une sous le mélangeur (carton de parement de couleur crème), l'autre au-dessus (carton de couleur grise). La pâte de plâtre est coulée sur la feuille

de carton inférieure dont les bords ont été repliés. La feuille de carton supérieure vient refermer le moule ainsi constitué, ses bords sont collés sur les bords repliés de la feuille inférieure. L'ensemble est « laminé » par un cylindre ou une plaque de formage et transporté sur un tapis puis des rouleaux jusqu'au « couteau » ou « cisaille ». La longueur du tapis et sa vitesse de déroulement sont ajustées pour permettre au plâtre de prendre et d'être coupé à la longueur souhaitée, en bout de chaîne.

Les plaques sont ensuite retournées afin que le carton de parement ne souffre pas des transferts suivants, et distribuées sur les étages d'introduction dans le sécheur. Les plaques, humides à ce stade, sont séchées pendant 45 min environ, puis défournées. Elles sont recoupées à la longueur précise par des scies circulaires, assemblées deux à deux (pour les manutentions ultérieures sur chantier) puis par piles d'environ 40 à 90 plaques en fonction des épaisseurs et des utilisations, mises sur palettes et cerclées.

Exemple : *caractéristiques d'une unité classique de fabrication de plaques de plâtre*

Capacité annuelle de production : 20 millions de mètres. Consommation annuelle de gypse : 200 000 t.

Consommation annuelle de carton : 10 000 t. Vitesse de déroulement du tapis : 60 m/min. Longueur de la chaîne : 350 m.

Certaines usines ont des vitesses allant jusqu'à 160 m/min et des longueurs de chaîne allant jusqu'à 500 m.

Température de séchage : 100 à 200 °C. Longueur du sécheur : 100 m.

Deux paramètres sont d'une importance extrême et ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche et développement :

- le *temps de prise du plâtre* qui, pour une chaîne d'une longueur donnée, conditionne la vitesse et par conséquent la capacité de production ;
- le *séchage* qui conditionne pour l'essentiel la qualité du produit fini.

Le problème à résoudre est celui de l'homogénéité du séchage malgré les différences d'épaisseur (bords amincis ou changement d'épaisseur de fabrication) ou le remplissage partiel du sécheur (début, fin de fabrication, incidents de fonctionnement en amont). La sanction d'un mauvais réglage est la mise au rebut de plaques dites « molles », parce qu'encore trop chargées en eau, qui ne supporteraient pas les opérations suivantes et en particulier les contraintes imposées au stockage, ou de plaques « brûlées » ou à

« bords brûlés » qui, du fait d'une désolidarisation du carton et du plâtre, perdraient l'essentiel de leur résistance mécanique et poseraient des problèmes lors de la finition (peinture, carrelage...) des ouvrages réalisés avec ces plaques.

Les plaques mises au rebut sont traitées dans des ateliers de **recyclage**. Après broyage des plaques, le plâtre et le carton sont séparés. Le plâtre est réintroduit dans le circuit de fabrication, le carton est également utilisé pour refaire du carton ou comme fibres dans le plâtre.

Variétés

5.1 Plâtres destinés au bâtiment

5.1.1 Enduits intérieurs

On distingue trois familles de plâtres pour enduits intérieurs :

- pour enduits manuels (§ 5.1.1.1) ;
- pour projection mécanique (§ 5.1.1.2) ;
- pour enduits spéciaux appliqués soit manuellement, soit par projection mécanique (§ 5.1.1.3).

5.1.1.1 Enduits manuels

Ils sont destinés aux enduits intérieurs de murs et plafonds sans addition d'un autre liant ou d'un granulat. La norme EN 13279-1 distingue trois grandes familles :

- les plâtres de construction comportant plus de 50 % en masse de sulfate de calcium actif et moins de 5 % en masse de chaux ;
- les enduits à base de plâtre comportant moins de 50 % en masse de sulfate de calcium actif et moins de 5 % en masse de chaux ;
- les enduits plâtre/chaux comportant moins de 50 % en masse de sulfate de calcium actif et plus de 5 % en masse de chaux.

Pour tous ces plâtres, le temps de début de prise est supérieur à 20 min. Leurs propriétés mécaniques sont équivalentes : la résistance en flexion est supérieure ou égale à 1 N/mm², la résistance en compression est supérieure ou égale à 2 N/mm².

Les enduits intérieurs peuvent s'appliquer en une ou plusieurs couches.

Projection mécanique

Il existe sur le marché une gamme importante de plâtres à projeter : enduits intérieurs de murs et de plafonds, protections spéciales contre l'incendie, etc. La projection mécanique fait appel à des

machines légères et de faible encombrement, de différents modèles, qui assurent en continu le gâchage du plâtre, le transport de la pâte par tuyau et la projection pneumatique sur le support. Seule la finition de l'enduit se fait généralement de façon manuelle.

L'approvisionnement des chantiers peut se faire en sacs ou en vrac, avec l'utilisation d'un silo de chantier et une alimentation en continu des machines. Le taux d'eau de gâchage (variable avec le type de plâtre et la nature du support) est indiqué par le fabricant dans la notice d'emploi. La quantité d'eau de gâchage nécessaire, réglée une fois pour toutes, est fournie automatiquement par la machine. On peut colorer les plâtres à projeter dans la masse en introduisant des colorants dans l'eau de gâchage. Le temps d'utilisation du plâtre est supérieur à 1h30 (temps de début de prise fixé à 50 min dans la norme EN 13279-1).

L'enduit projeté évite la plus grande partie des gravats et assure la propreté du chantier.

L'application sur le support ne nécessite qu'une seule couche aussi bien sur mur que sur plafond. Suivant l'épaisseur (qui peut atteindre plusieurs centimètres sans difficulté), la couche peut être réalisée en une ou plusieurs passes. L'enduit peut être laissé brut de projection, ayant ainsi un aspect décoratif. Il est généralement dressé à la règle et la finition intervient dans un délai (2 à 3 h) permettant l'organisation rationnelle du chantier.

Les enduits ainsi réalisés sont d'une qualité régulière et d'une finition parfaite. Leur temps de séchage est réduit (de l'ordre d'une semaine dans des conditions ambiantes normales). Leur dureté est variable selon le type de plâtre choisi ; certains plâtres THD (très haute dureté) peuvent être projetés mécaniquement.

5.1.1.3 Enduits spéciaux

Ce sont des produits mis au point pour répondre à l'évolution des techniques de construction et pour permettre la réalisation d'ouvrages de caractéristiques particulières.

- **Plâtres pour enduits de très haute dureté (THD)**

Ces plâtres donnent par leur nature des enduits de très haute dureté et peuvent s'appliquer partout où une résistance élevée est recherchée ou imposée. Leur grande résistance aux chocs les destine plus particulièrement à un emploi dans les lieux soumis à des conditions de service très sévères : locaux publics (écoles, hôpitaux, cliniques, gares, etc.) ou logements (soubassements de pièces, halls, cages d'escaliers, etc.). Ils constituent un excellent support pour la pose des revêtements céramiques, admis par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), même dans les pièces humides.

- Plâtres de surfacage

Ces plâtres, employés en faible épaisseur (de l'ordre de 1 à 3 mm), sont destinés à corriger les défauts des surfaces planes mais granitées, et à la finition par lissage des parois bullées. Ils possèdent un très grand pouvoir garnissant.

- Plâtres à briqueter

Ce sont des plâtres à granulométrie élevée et à prise rapide spécialement destinés au montage des cloisons en briques.

- Plâtres allégés

Les plâtres allégés, qu'ils soient projetés ou à application manuelle, permettent d'obtenir des enduits dont les caractéristiques finales sont tout à fait excellentes. Dans les domaines de la protection contre l'incendie, de l'isolation thermique et de l'absorption phonique, les propriétés spécifiques au plâtre sont sensiblement améliorées du fait de l'adjonction d'un granulats léger.

Les enduits en plâtre allégé supportent sans dommage la plupart des efforts et contraintes auxquels sont parfois soumis les supports (plafond notamment). Sur le plan des performances mécaniques, les duretés et résistances donnent toute satisfaction.

Les plâtres projetés allégés s'emploient avec toutes les machines conçues pour la projection du plâtre classique, sans modification ni réglages particuliers. En ce qui concerne la mise en œuvre, les différentes phases de dressage, serrage, réglage, sont très nettement facilitées ; l'enduit donne une impression réelle de légèreté et de grande souplesse, rendant ainsi le travail du plâtrier plus aisé.

Les plâtres projetés allégés sont caractérisés en particulier par une faible masse volumique, inférieure à 800 kg/m³. Cela permet d'enduire avec une même masse de plâtre, à épaisseur égale, une surface plus importante qu'avec les plâtres projetés classiques.

Les plâtres manuels allégés possèdent les mêmes avantages de légèreté, de souplesse et de rendement que les projetés. Ils présentent également d'autres caractéristiques liées à leur mise en œuvre ; l'absence de temps mort (d'où un talochage immédiat) et une finition irréprochable sont les plus notables.

Certains plâtres allégés sont spécialement formulés pour assurer une fonction d'absorption acoustique (plâtres « acoustiques ») ou pour contribuer à l'isolation thermique des parois.

- Plâtres à projeter pour protections spéciales contre l'incendie