

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DJILLALI LIABES SIDI BEL ABBES  
Laboratoire des Matériaux & Hydrologie

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET TRAVAUX PUBLICS



**MATERIAUX DE CONSTRUCTION 2**  
**COURS ET TRAVAUX PRATIQUES**  
**3 EME ANNEE LICENCE GENIE CIVIL**

Présentée par : Dr. SAIDI Hayat

Année Universitaire 2021/2022

**Unité d'enseignement: UEF 3.1.2**  
**Matière 2: Matériaux de construction 2**  
**VHS: 22h30 (Cours: 1h30)**  
**Crédits: 2**  
**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement:**

L'objectif est de permettre à l'étudiant d'enchaîner avec la matière enseignée en S4 notamment sur des composants des bétons et leurs comportements à l'état frais (ouvrabilité) et à l'état durci (les résistances mécaniques) sans oublier de décrire les différents types de bétons existants en se basant sur des textes normatifs actuels. Aussi, l'étudiant connaîtra les processus d'élaboration des différents matériaux, de la matière première jusqu'au produit fini.

**Connaissances préalables recommandées:**

Durant le S4 l'étudiant aura acquis des connaissances préliminaires et de base sur les caractéristiques physiques et mécaniques des liants et des granulats. L'étudiant sera en mesure de différencier entre les types de mortiers.

**Contenu de la matière:**

**Chapitre 1. Les bétons (7 Semaines)**

Définition et classification, Caractéristiques physiques et/ou mécaniques, Additions, Adjuvants, Formulation des bétons, Essais sur béton frais, Essais sur bétons durcis, Notions sur les nouveaux bétons et leurs applications.

**Chapitre 2. Produits céramiques (4 Semaines)**

Généralités, Classification des produits Céramiques, Matière premières, Fabrication des produits céramiques (Briques, tuiles, Carreaux de revêtement des murs et des sols, Céramique sanitaires, etc.).

**Chapitre 3. Métaux ferreux et non ferreux (2 Semaines)**

Généralités, Propriétés des métaux (Physiques, chimiques et mécaniques), Classification des aciers selon compositions, Protection des métaux ferreux contre la corrosion.

**Chapitre 4. Le verre (2 Semaines)**

Élaboration, Procédé de fabrication, Propriétés et utilisations.

**Mode d'évaluation :**

Examen: 100%.

**Références bibliographiques:**

1. Matériaux Volume 1, "Propriétés, applications et conception : cours et exercices : Licence 3, master, écoles d'ingénieurs", Edition, Dunod, 2013.
2. "Adjuvants du béton", Afnor, 2012.
3. "Granulats, sols, ciments et bétons: caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire : Ecoles d'ingénieurs", Castilla, 2009.
4. G. Dreux, "Le nouveau guide du béton". Editions Eyrolles.
5. "Ciments et bétons actuels", CIIC, Paris, 1987.

**Semestre: 5**

**Unité d'enseignement: UEM 3.1**

**Matière 3:TP Matériaux de construction 2**

**VHS: 22h30 (TP: 1h30)**

**Crédits: 2**

**Coefficient: 1**

**Objectifs de l'enseignement :**

Ces TP ont pour objectif principal de développer chez l'étudiant l'intérêt de connaître certaines propriétés spécifiques des matériaux en respectant les normes en vigueur et surtout faire connaissance avec un matériau clé dans le domaine du génie civil : le béton. Mettre l'étudiant en direct avec les techniques de laboratoire.

L'étudiant ayant acquis des notions de base en termes de TP sur les matériaux, il s'avère nécessaire d'approfondir ses connaissances par des essais plus spécifiques sur le béton.

**Connaissances préalables recommandées :**

Matériaux de construction, TP Matériaux de construction, Résistance des matériaux1.

**Contenu de la matière :**

**TP. 1 :** Détermination du module de finesse et du taux des fines du sable.

**TP. 2 :** Utilisation de la méthode de Dreux-Gorisse pour la détermination de la composition du béton.

**TP.3 :** confection et essais sur mortiers.

**TP.4 :** Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams.

**TP.5 :** Essai d'écrasement sur béton.

**TP.6 :** Essais non destructifs.

**Mode d'évaluation :**

Contrôle continu : 100%.

**Références bibliographiques**

1. G. Dreux, Le nouveau guide du béton, Editions Eyrolles.
2. F. Gorisse, Essais et contrôle des bétons, Editions Eyrolles.

# TABLE DE MATIÈRE

## LES COURS

### Chapitre I. Le béton

I.1. Introduction.....	11
I.2. Les composants du béton.....	11
I.2.1 Le ciment.....	11
I.2.2 Principe de fabrication ciment.....	11
I.2.2.1 L'extraction et la préparation de la matière première.....	12
I.2.2.2 Le broyage.....	12
I.2.2.3 La cuisson.....	12
I.2.2.4 Le refroidissement et le broyage.....	12
I.2.2.5 Le stockage.....	12
I.2.3 L'eau de gâchage.....	14
I.2.4 Les granulats.....	14
I.2.4.1 Granulats roulés.....	16
I.2.4.2 Granulats concassés.....	16
I.2.5 Les adjuvants.....	16
I.3. Principaux avantages et inconvénients du béton.....	17
I.3.1 Avantages du béton.....	17
I.3.2 Inconvénients du béton.....	18
I.4. Classification du béton.....	18
I.5. Sélection les éléments pour béton.....	21
I.6. Etude de la composition du béton.....	21
I.6.1 La composition granulométrique.....	22
I.6.2 Rapport E/C.....	22
I.7. Méthode de formulation.....	23
I.7.1 Application de la méthode de Dreux.....	23
I.8. Caractéristiques principales du béton frais.....	26
I.8.1. L'ouvrabilité du béton frais.....	26
I.8.1.1 Affaissement au cône d'Abrams.....	26
I.8.1.2 Etalement sur table.....	27
I.8.1.3 L'essai de maniabilimètre.....	28
I.8.2. Caractéristiques principales du béton durcissant.....	29
I.8.2.1 La résistance en compression.....	29
I.8.2.2 La résistance en traction.....	30

• La résistance en traction – flexion.....	30
• La résistance en traction par fendage.....	30
I.9. La déformation des bétons.....	31
I.9.1. Le retrait.....	31
I.9.2. La dilatation.....	31
I.9.3. Le fluage.....	31
I.10. Élasticité du béton.....	32
I.11. Effet «Poisson».....	33
I.12 Les nouveaux bétons.....	33
I.12.1 Les bétons auto-plaçants, qui se mettent en place sans vibration.....	33
I.12.2 Les bétons de bois.....	34
I.12.2.1 Utilisation des bétons de bois.....	35
I.12.3 Les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP).....	35
I.12.3.1. Utilisation des bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP).....	36
I.12.4 Les bétons armés d'inox.....	37
I.12.5. Les bétons auto-nettoyants et dépolluants.....	38
I.12.5. 1.Utilisation des bétons auto-nettoyants et dépolluants.....	38
I.12.6. Les bétons de fibres polypropylène.....	39
I.12.7. Les bétons de parement.....	39

## Chapitre II Produits céramiques

II.1 Définition.....	40
II.2 Classifications des matériaux céramiques.....	41
II.3 Les matières premières.....	41
II.4 Les grandes caractéristiques des céramiques.....	42
II.5 Les produits céramiques dans la construction.....	42
II.5.1 Les terres cuites.....	42
II.5.2 Les faïences.....	43
II.5.3 Les grès.....	44
II.5.3.1 Carreaux de grès ordinaire ou grès cérame.....	44
II.5.3.2 Carreaux de grès émaillé.....	45
II.5.3.3 Carreaux de demi-grès.....	46
II.6 Les briques et ses différentes sortes.....	46
II.6.1 Briques en terre crue.....	46
II.6.2 Briques en terre cuite.....	47
II.6.3 Mode de fabrication.....	48
II.6.4 Les produits.....	50
II.6.4 .1 Brique pleine.....	50

II.6.4 .2 Brique perforée.....	50
II.6.4 .3 Bloc perforé.....	50
II.6.4 .4 Brique creuse de terre cuite.....	50
II.7 couverture.....	51
II.7.1 La tuile.....	51
II.7.1.1 Tuile CANAL.....	51
II.7.1.2 Tuile PLATE.....	52
II.7.1.3 Tuile À EMBOÎTEMENT.....	53
• Grand moule.....	53
• Petit moule.....	53
II.7.2 Techniques de fabrication des tuiles.....	54
II.7.3 Le support de couverture.....	54
II.8.1 Définition de la céramique sanitaire.....	56
II.8.2 Caractéristiques d’aptitude à l’emploi.....	57
II.8.3 La technique de fabrication de la porcelaine sanitaire.....	58

## **Chapitre III Métaux ferreux et non ferreux**

III.1 Généralité.....	59
III.2 Les métaux ferreux.....	59
III.2.1 Les aciers.....	59
III.2.2 La fonte.....	59
III.2.3 Le fer pur.....	60
III.2.4 Aciers Inoxydables.....	60
III.3 Les métaux non-ferreux.....	60
• Les métaux lourds.....	60
• Les métaux légers.....	60
III.4 Les armatures pour béton armé.....	62
III.5 Les caractéristiques des aciers.....	63
III.5.1 Les Caractéristiques de forme des aciers.....	63
• Les aciers lisses.....	63
• Les aciers à haute adhérence.....	63
III.5.2 Les Caractéristiques géométriques des aciers.....	64
III.6 La liaison acier béton adhérence.....	64
III.7 Les propriétés pour le dimensionnement.....	65
III.7.1 La soudabilité.....	65

III.7.2 L'adhérence et géométrie de la surface.....	65
III.7.3 Non fragilité (aptitude au pliage).....	65
III.8 Les Caractéristiques mécaniques en traction.....	65
• D'une sollicitation de traction simple.....	65
• D'une sollicitation de flexion simple.....	66
• D'une sollicitation de cisaillement.....	66
• La longueur de recouvrement.....	69
III.9 La fabrication et pose en coffrage des armatures.....	69
III.9.1 Le dressage.....	70
III.9.2 La coupe.....	71
III.9.3 Le façonnage à froid.....	72
III.9.4 L'assemblage.....	72
III.10 L'ancrages des cadres et étriers.....	74
III.11 Tracé des armatures d'effort tranchant.....	75
III.12 Tracé des armatures transversales des pièces soumises à la torsion.....	75
III.13 Les armatures façonnées proches des parements Poussée au vide.....	76
3.14 La protection des métaux ferreux contre la corrosion.....	77
3.14 La protection des métaux ferreux contre la corrosion.....	77
3.14.1 Description du phénomène.....	77
• Corrosion uniforme.....	77
• Corrosion localisée.....	77
• La corrosion inter-cristalline.....	78

## **Chapitre VI Le verre**

VI.1 Définition.....	79
VI.2 Fabrication Des Verres Industriels.....	79
VI.3 La Composition.....	80
• Les vitrifiants.....	80
• Les fondants.....	80
• Les stabilisants.....	80
• Les affinants.....	80
• Les colorants.....	80

• Les opalisants.....	80
VI.4 Les Principaux Secteurs De L'industrie Du Verre.....	81
VI.4.1 Le verre plat .....	81
VI.4.2 Procédés industriels.....	82
VI.4.3 Transformation du verre plat.....	82
VI.4.3.1. Verre de sécurité trempé et feuittés.....	82
VI.4.3.2 Les vitrages isolant.....	82
VI.4.3.3 Les miroirs.....	83
VI.5. Le verre creux.....	83
VI.5.1 gobeletterie, cristallerie.....	83
VI.5.2 verre d'emballage.....	84
VI.6. Le verre technique.....	84
VI.6.1 Fibres de verres textiles et non textiles.....	84
VI.6.2 Les fibres optiques.....	85
VI.6.3 Le verre cellulaire.....	86

## LES TRAVAUX PRATIQUES

<b>TP1</b> : Détermination du module de finesse et du taux des fines du sable.....	87
<b>TP2</b> : Utilisation de la méthode de Dreux-Gorisse pour la détermination de la composition du béton.....	91
<b>TP3</b> : Confection et essais sur mortiers.....	101
<b>TP4</b> : Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams.....	113
<b>TP5</b> : Essai d'écrasement sur béton.....	116
<b>TP6</b> : Essais non destructifs.....	120

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Numéro de page</b>
<b>CHAPITRE 1</b>		
Tableau I.1	Les différents types des adjuvants	17
Tableau I.2	Les différents types des bétons	20
Tableau I.3	Les résistances à la compression selon les classes des bétons	21
Tableau I.4	Appréciation de la <i>consistance</i> en fonction de l'affaissement au cône	27
Tableau I.5	les valeurs d'étalement à la table	28
Tableau I.6	La classification selon l'essai du maniabilimètre	29
<b>CHAPITRE 3</b>		
Tableau III.1	Les métaux non ferreux	61
Tableau III.2	Les caractéristiques géométriques des aciers	64
<b>CHAPITRE 4</b>		
Tableau VI.4.2	Procédés industriels	81

## LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Numéro de page
<b>CHAPITRE 1</b>		
Figure I.1	Le four de fabrication de ciment	13
Figure I.2	Principe de fabrication de ciment	14
Figure I.3	Les différents types de granulats	15
Figure I.4	Abaque de Dreux	25
Figure I.5	Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams	26
Figure I.6	La table à secousse	28
Figure I.7	Le maniabilimètre	29
Figure I.8	les moules cylindriques et cubiques et les éprouvette	29
Figure I.9	Différents essai sur les résistances d'un béton en traction	30
Figure I.10	Chargement et déchargement	32
Figure I.11	Béton auto-plaçant	34
Figure I. 12	Béton de bois	35
Figure I. 13	béton fibrés à ultra-hautes performances	36
Figure I. 14	Armature en Inox	37
Figure I.15	Eglise de Jubilé, ROME et un mur anti bruit en béton auto-nettoyant	38
Figure I. 16	Béton de parement	39
<b>CHAPITRE 2</b>		
Figure II.1	Microstructure typique d'une surface céramique	40
Figure II.2	Terre cuite	43
Figure II.3	Carrelage en terre cuite	43
Figure II.4	Les faïences	44
Figure II.5	Dalle en grés cérame	45
Figure II.6	Revêtement de mur et de sol en grés cérame	45
Figure II.7	Carrelage en grés cérame émaillé	46
Figure II.8	Briques en terre crue	47
Figure II.9	Briques en terre cuite	47
Figure II.10	L'extraction de la matiere première	48

Figure II.11	Coupage de brique	49
Figure II.12	Les étapes de fabrication de brique	49
Figure II.13	Briques pleines et perforées	50
Figure II.14	La couverture des toitures	51
Figure II.15	La tuile canal	52
Figure II.16	La tuile plate	52
Figure II.17	La tuile à emboîtement	53
Figure II.18	Tuile canal posée sur voliges	54
Figure II.19	Tuile canal posée sur l'inteaux	55
Figure II.20	Tuile canal posée sur chevrons triangulaires	55
Figure II.21	Le support de couverture en bois	55
Figure II.22	Les différents couches d'une toiture	56
Figure II.23	La céramique sanitaire	57
<b>CHAPITRE 3</b>		
Figure III.1	Les métaux ferreux	59
Figure III.2	Les Caractéristiques de forme des aciers	63
Figure III.3	La traction simple	65
Figure III.4	La flexion simple	66
Figure III.5	Le cisaillement	66
Figure III.6	La présence des fissures dans les éléments en Béton	67
Figure III.7	La représentation des armatures dans une poutre en Béton armé	67
Figure III.8	La représentation des armatures transversales (les cadres et épingles)	68
Figure III.9	La représentation des armatures longitudinales pour une poutre continues	68
Figure III.10	Le recouvrement des armatures	69
Figure III.11	présente les divers processus de production des armatures	70
Figure III.12	La dresseuse-cadreuse	71
Figure III.13	Le cisaille	71
Figure III.14	Le façonnage à froid des armatures	72
Figure III.15	L'assemblage des armatures	73
Figure III.16	Les armatures transversales. Exemple de combinaisons d'ancrages conforme à l'Eurocode 2	74
Figure III.17	Les armatures transversales de poutres fléchis Conforme à la norme NF EN 1992-1-1	75
Figure III.18	Les armatures transversales de torsion recommandées par la norme	75

	NF EN 1992-1-1	
Figure III.19	Exemples de poussée au vide d'armatures tendues et solution alternative	76
Figure III.20	Exemples de poussée au vide d'ancrage et solution alternative	76
Figure III.21	Corrosion uniforme	77
Figure III.22	Corrosion localisée	78
Figure III.23	Corrosion inter cristalline	78
<b>CHAPITRE 4</b>		
Figure VI.1	Le verre plat	81
Figure VI.2	Le verre isolant	82
Figure VI.3	Le vitrage d'automobile	83
Figure VI.3	La cristallerie	83
Figure VI.4	La gobeletterie	83
Figure VI.5	Le Verre d'emballage	84
Figure VI.6	Les verres textiles et non textiles	85
Figure VI.7	Les fibres optiques	85
Figure VI.8	Bloc moussé après refroidissement	86
Figure VI.9	Bloc de verre cellulaire servant à créer une barrière étanche entre sol et parois maçonnées.	86

## I.1 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  $100 \text{ kg/m}^3$  [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.2.2 Principe de fabrication 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 ce fait en présence de l'eau elle convient plus pour les matières premières humides ou moues et la pate est cuite sous forme de boue liquide.

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

### **I.2.2.1 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.2.2.2 Le broyage :**

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

### **I.2.2.3 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  $1450^{\circ}\text{C}$  dans la partie inferieure.

Le mélange entre alors en fusion et forme un granulé appelé le (**CLINKER**) est la base constitutive du ciment.

### **I.2.2.4 Le refroidissement et le broyage :**

A la sortie du four, le clinker tombe dans des refroidisseur à travers les quelles 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.2.2.5 Le stockage :**

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

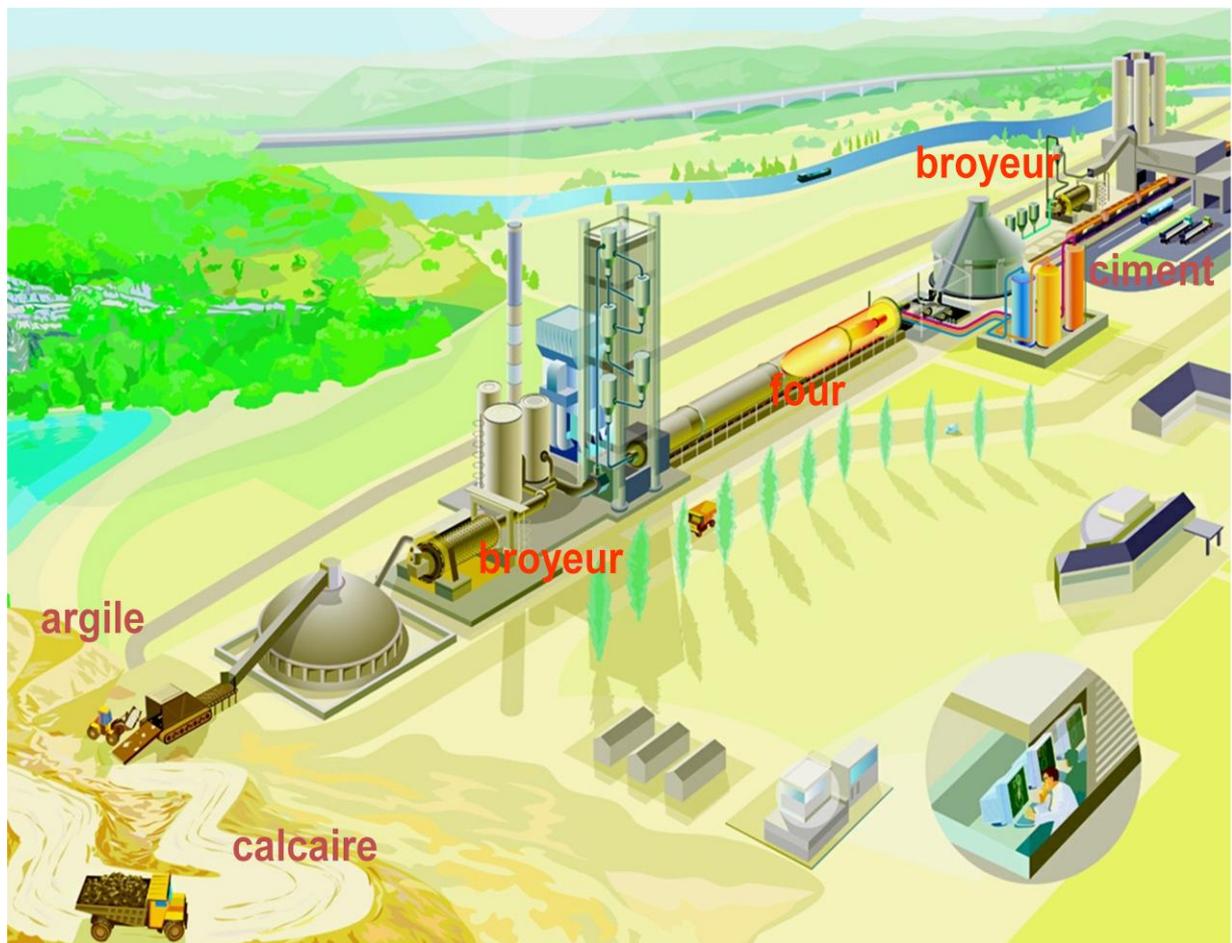


Figure I.1 Le four de fabrication de ciment [12].

## LA FABRICATION DU CIMENT PRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE CIMENTERIE

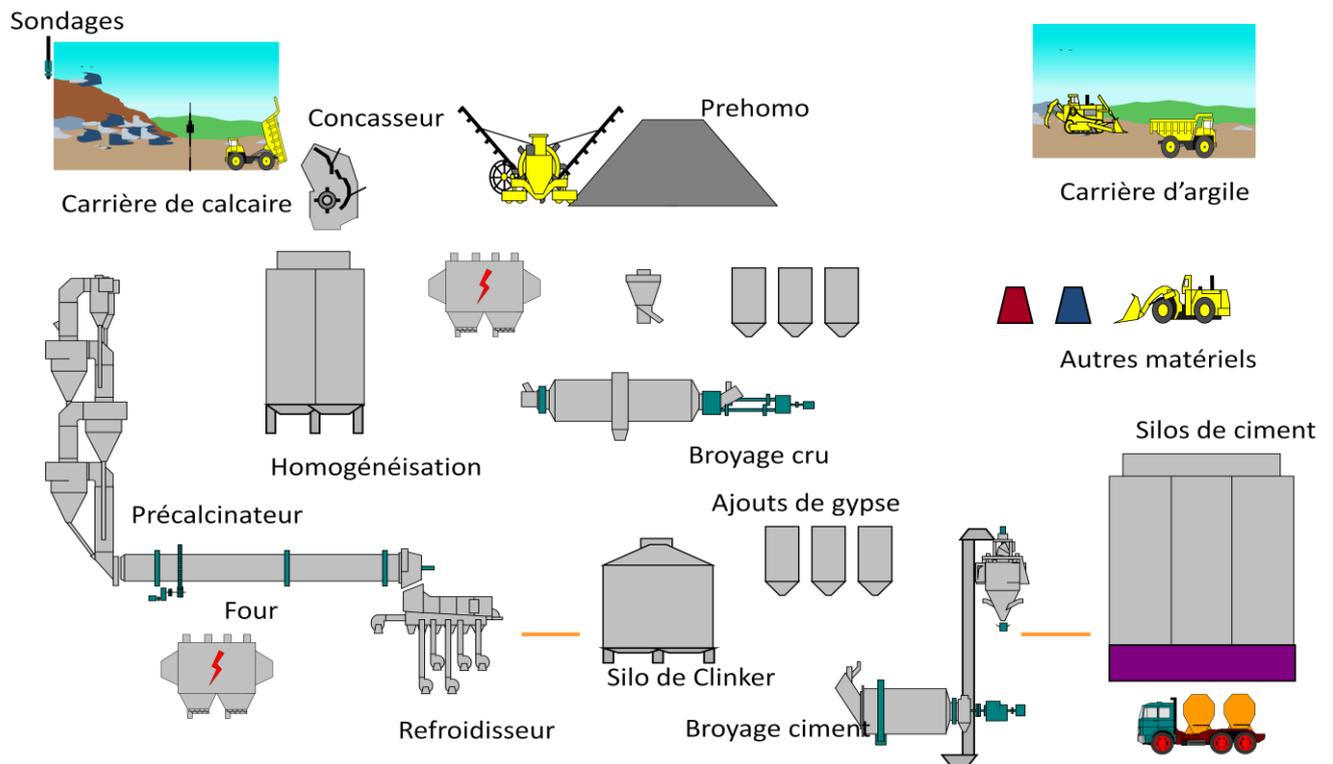


Figure I.2 Principe de fabrication de ciment [12].

## I.2.3 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.

## I.2.4 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 granulats utilisés 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.

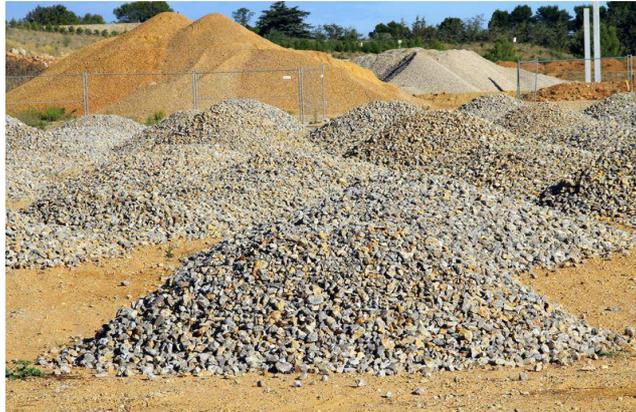


Figure I.3 Les différents types de granulats

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

$d$  = diamètre le plus petit du granulats.

$D$  = diamètre le plus grand du granulats

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.

#### **I.2.4.1 Granulats roulés :**

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

#### **I.2.4.2 Granulats concassés :**

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

### **I.2.5 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
<b>Prise et durcissement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Accélérateur de prise</u> : diminue le temps de prise du béton.</li> <li>• <u>Accélérateur de durcissement</u> : accélère le temps de durcissement du béton.</li> <li>• <u>Retardateur de prise</u> : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.</li> </ul>
<b>Ouvrabilité du béton</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Plastifiant</u> : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer.</li> <li>• <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.</li> <li>• <u>Superplastifiant</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <u>Fonction fluidifiant</u> : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance.</li> <li>○ <u>Fonction réducteur</u> : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Modification de certaines propriétés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <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.</li> <li>• <u>Hydrofuge</u> : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</li> <li>• <u>Les pigments</u> : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</li> </ul>
<b>Les produits de cure</b>	Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation.

### I.3. Principaux avantages et inconvénients du béton

#### I.3.1 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 usuelles.

- 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].

### I.3.2 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.

### I.4. 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  $2003 \text{ kg/m}^3$  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  $6000 \text{ kg/m}^3$  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 offshores ou les ponts.

d) Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de  $500 \text{ kg/m}^3$ . 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 <sup>3</sup> de béton	Applications
<b>Le béton léger</b>	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
<b>Le béton lourd</b>	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 contreponds
<b>Le béton auto-plaçant</b>	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
<b>Le béton fibré</b>	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
<b>Les bétons décoratifs</b>	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
<b>Les bétons hautes performances</b>	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  $f_{ck,cyl}$  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	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$f_{ck}^{cyl}$ (Mpa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck}^{cube}$ (Mpa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60

### I.5. 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].

### I.6. 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 oeuvre 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.

### **I.6.1 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.

### **I.6.2 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. Par contre 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 pate de ciment riche en eau, fluide. Un tel béton est atteint par la séfrégation 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 ne couleur claire parce que la partie de ciment non-hydratant est très faible.

### I.7. 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.

#### I.7.1 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 :  $D = 25 \text{ mm}$

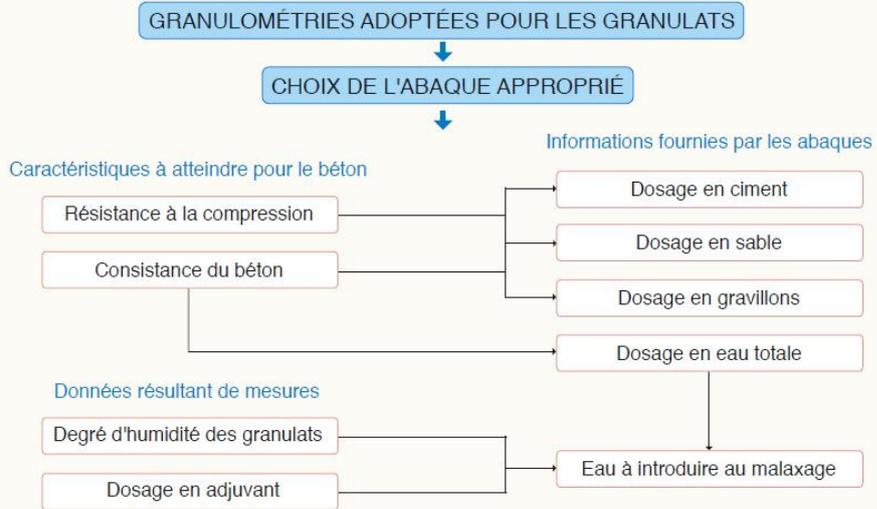
- ***l'ouvrabilité*** qui peut être définie par la plasticité mesurée par l'affaissement ( $A$ ) au cône d'Abrams, ex :  $A = 7$  cm
- ***la résistance*** qui peut être définie par l'écrasement en compression d'éprouvettes cylindriques réalisées avec le béton en question, ex :  $f_{c28} = 30$  Mpa.
- ***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  $\text{kg/m}^3$ ) 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  $400 \text{ kg/m}^3$  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/m<sup>3</sup>
4. sable 0/4 mm à l'état sec ..... 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.

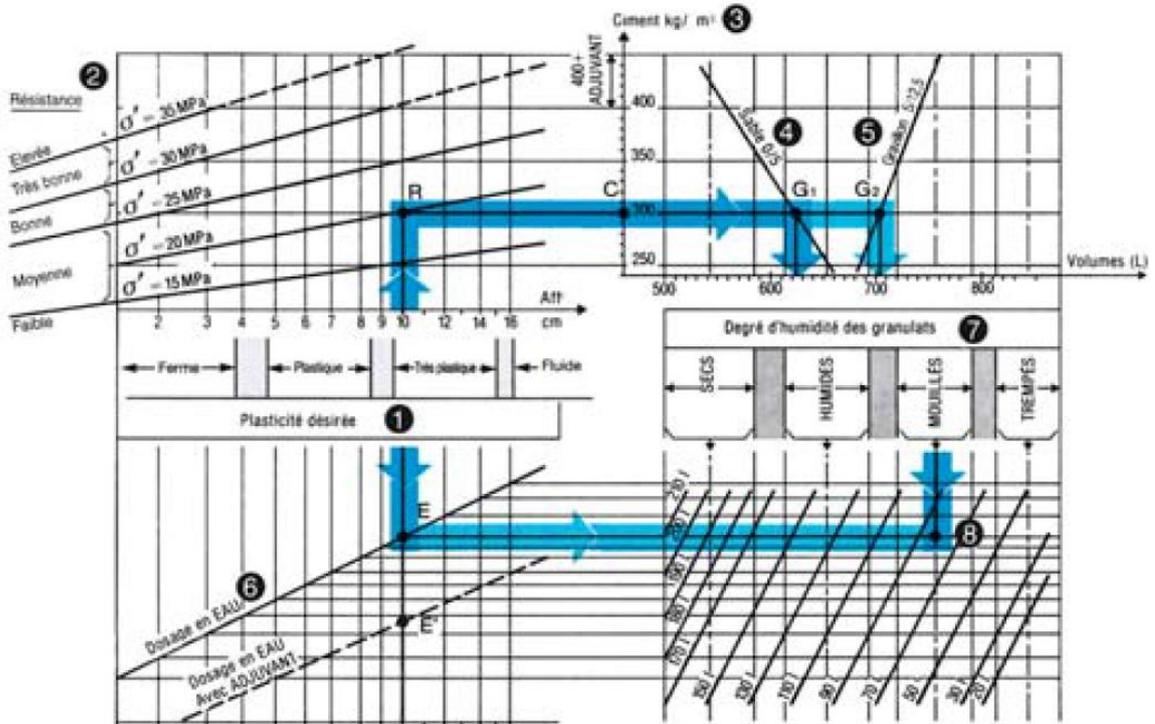


Figure I.4 Abaque de Dreux [5].

## I.8. 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].

### I.8.1. 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.

#### I.8.1.1 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].

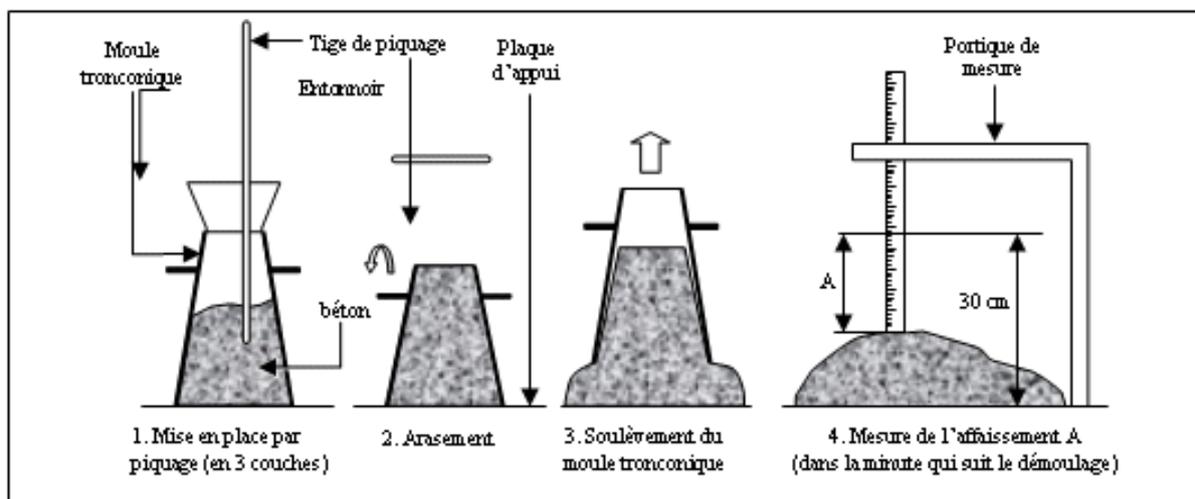


Figure I.5 Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams [4].

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	

### I.8.1.2 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.

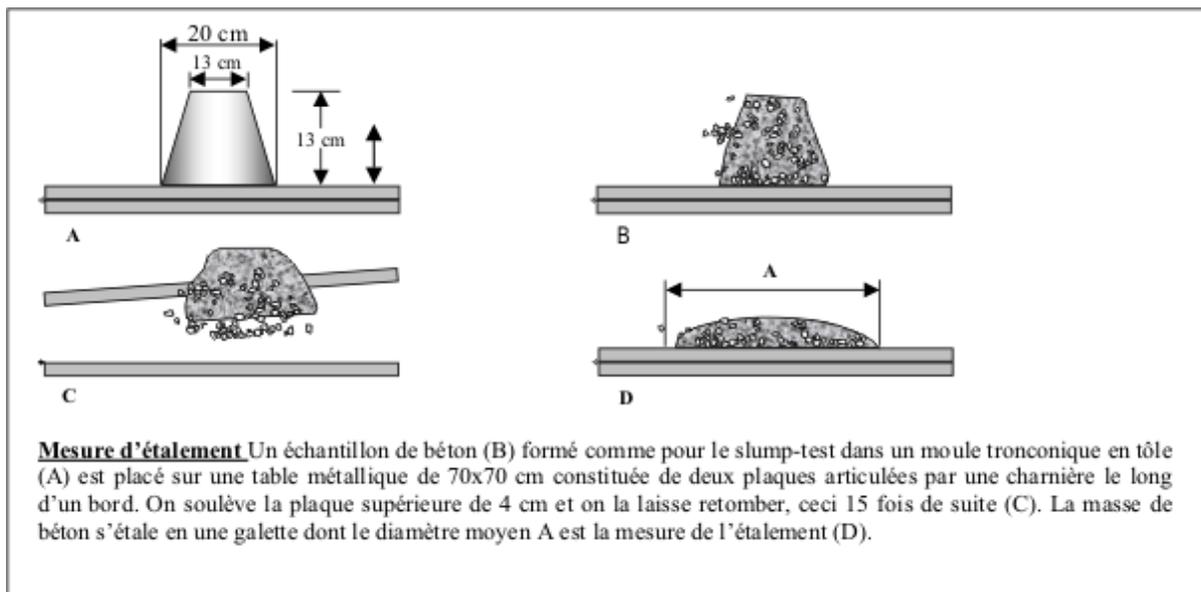


Figure I.6 La table à secousse [4].

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

### I.8.1.3 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].

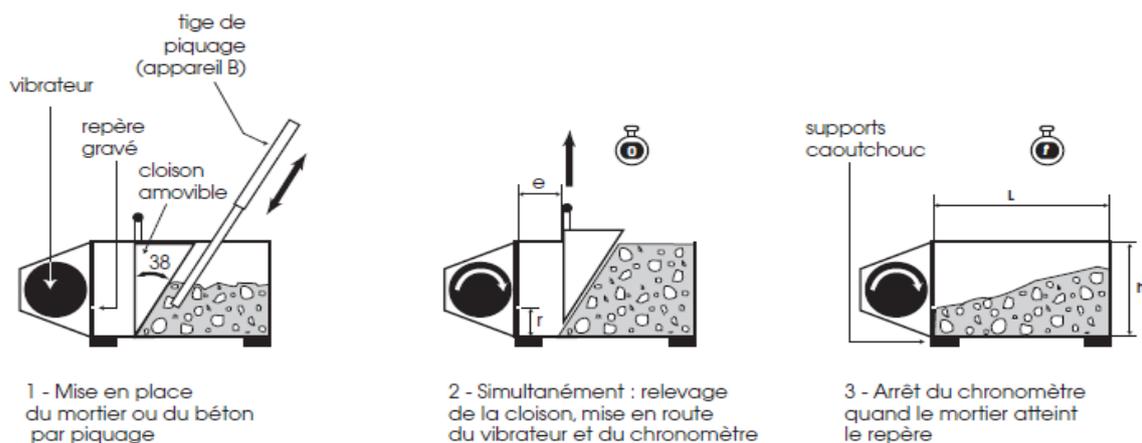


Figure I.7. Le maniabilimètre [4].

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	$t \leq 10$

### I.8.2. 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].

#### I.8.2.1 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<sup>2</sup>. La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres d = 15 cm de H = 30 cm.

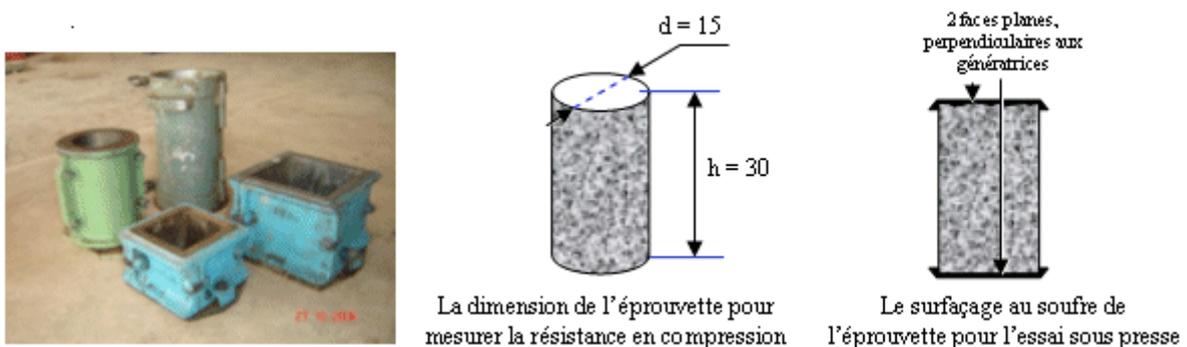


Figure I.8 les moules cylindriques et cubiques et les éprouvette pour mesurer la résistance en compression [4].

### I.8.2.2 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'élanement 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).

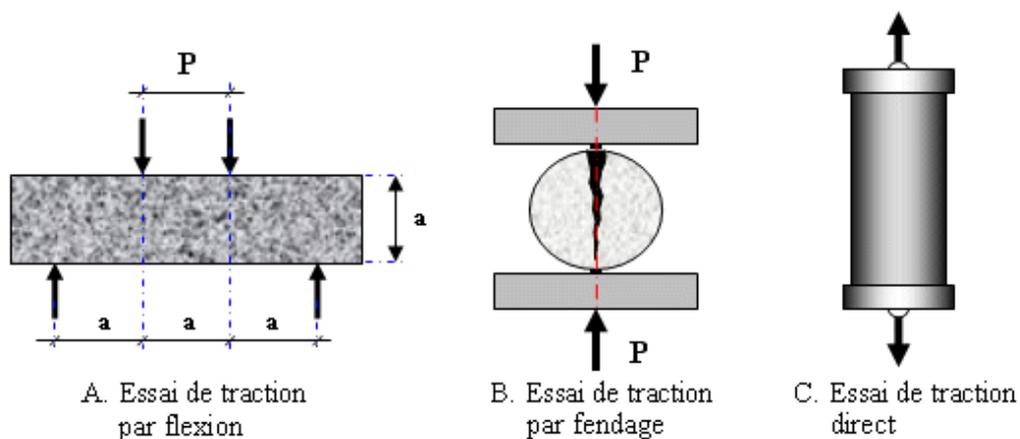


Figure I.9. Différents essais sur les résistances d'un béton en traction [4].

#### ➤ 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.

## I.9. 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].

### I.9.1. 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 [4].

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

$\Delta l$  – 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:  $3 \text{ ‰} \times 15000 \text{ cm} = 0,45 \text{ cm}$ .

### I.9.2. La dilatation

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à  $1 \times 10^{-5}$ , 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  $20 \text{ °C}$ , on a une dilatation de :  $2 \text{ ‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$  [4].

### I.9.3. 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]:

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

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

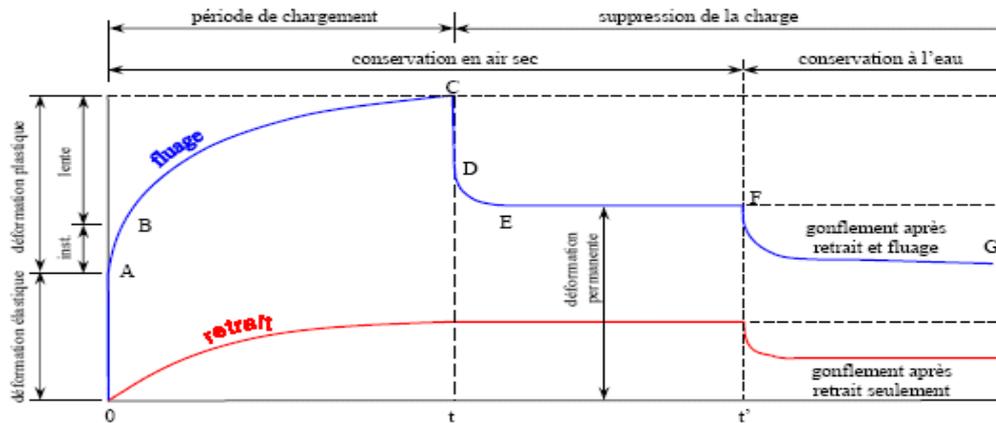


Figure I.10. Chargement et déchargement [4].

## I.10. 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 courant, 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 :

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

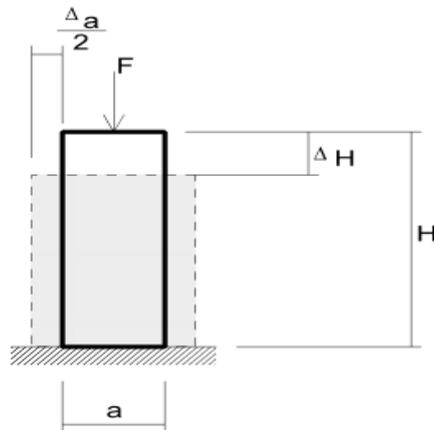
### I.11. Effet «Poisson»

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

Le coefficient « Poisson » est le rapport :

$$\frac{\text{Déformation transversale}}{\text{Déformation longitudinale}}$$

Dont la valeur varie entre 0.15 et 0.3.



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

### I.12 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].

#### I.12.1 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 analogues à celles des bétons mis en œuvre par vibration. Ils affirment leurs performances au fil des chantiers.



Figure I.11 Béton auto-plaçant [29].

### I.12.2 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].

### I.12.2.1 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].

### I.12.3 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/m<sup>3</sup>) 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

### **I.12.3.1. 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].

### I.12.4 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]

### I.12.5. 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 :  $TiO_2$

### I.12.5. 1.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].

### I.12.6. 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].

### I.12.7. 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].

## Les produits céramiques

### II.1 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 (joints de grains) comme illustré en Figure 2.1 [15].

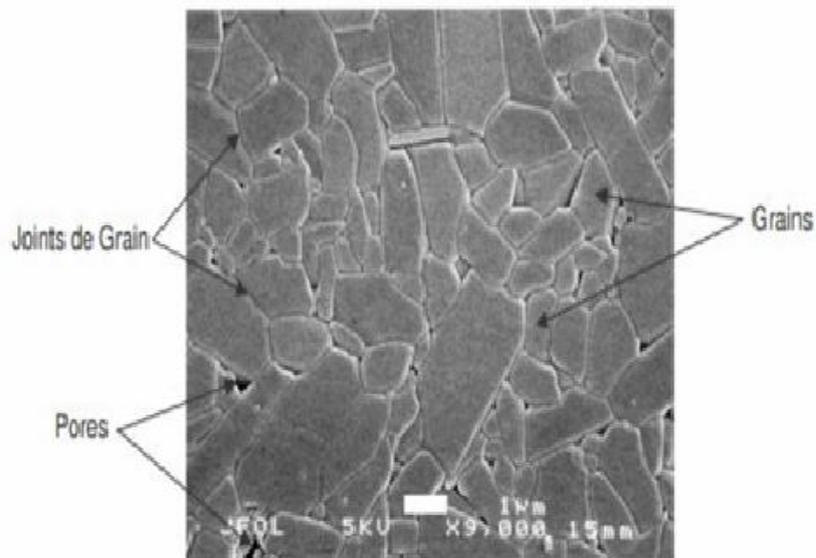
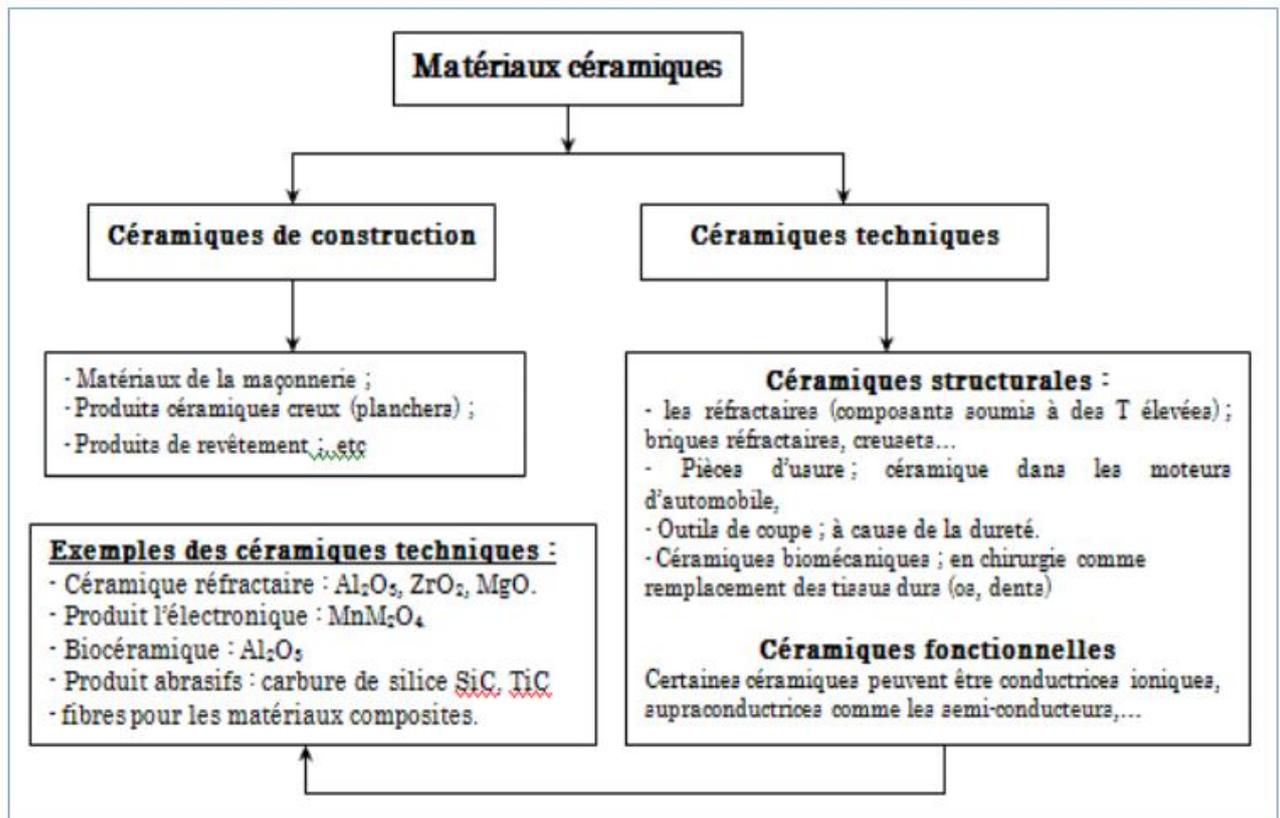


Figure II.1 Microstructure typique d'une surface céramique

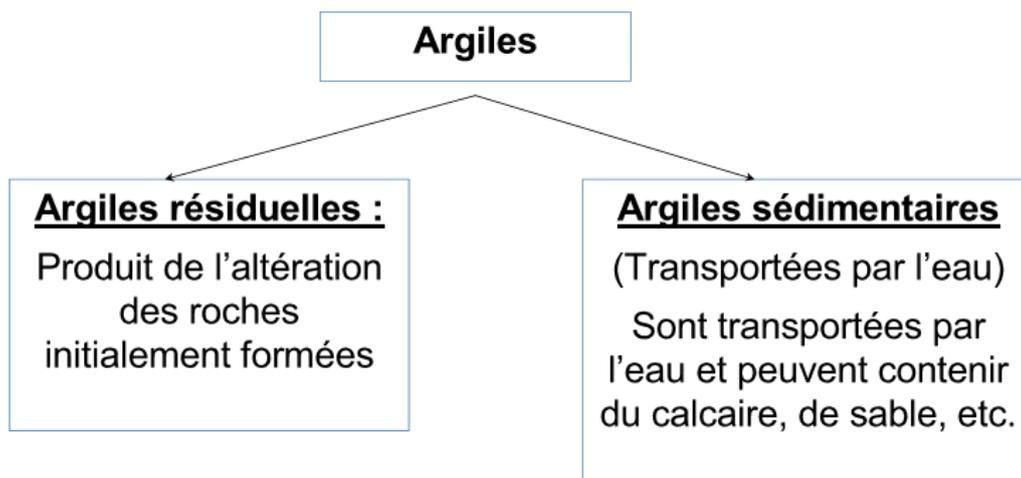
## II.2 Classifications des matériaux céramiques :

On distingue deux grandes classes des céramiques [15].



## II.3 Les matières premières:

Les argiles sont subdivisées comme suit [15] :



## II.4 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.

## II.5 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...[24].

### II.5.1 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 [24].



Figure II.2 Terre cuite



Figure II.3 Carrelage en terre cuite

### II.5.2 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 [24].



Figure II.4 Les faïences

### II.5.3 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 [24].

#### II.5.3.1 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 [24].



Figure II.5 Dalle en grès cérame



Figure 2.6 Revêtement de mur et de sol en grès cérame

### II.5.3.2 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 [24].



Figure II.7 Carrelage en grès cérame émaillé

### II.5.3.3 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].

## II.6 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].

### II.6.1 Briques en terre crue.



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

### II.6.2 Briques en terre cuite.



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

### II.6.3 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 matière 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]

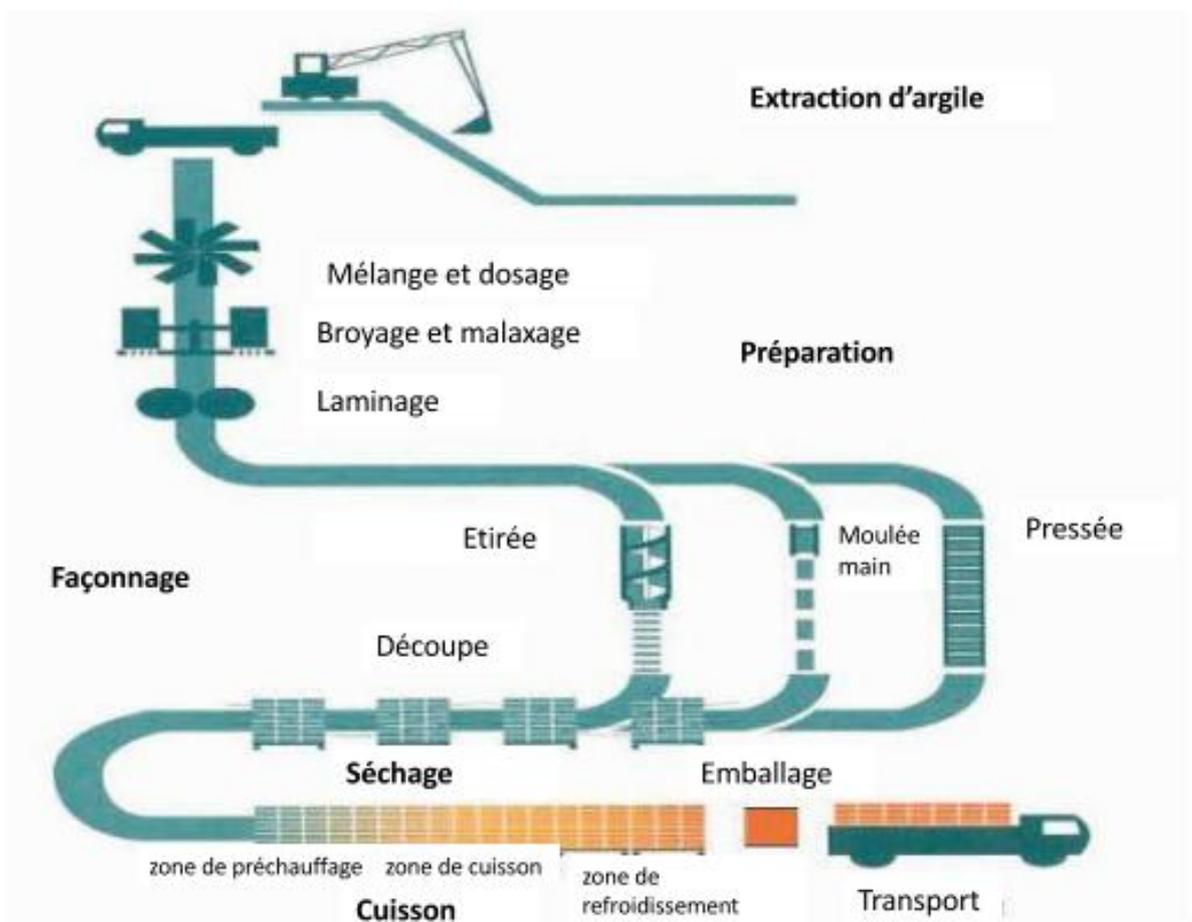


Figure II.12 Les étapes de fabrication de brique [25].

### II.6.4 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]:

#### II.6.4 .1 Brique pleine:

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

#### II.6.4 .2 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.

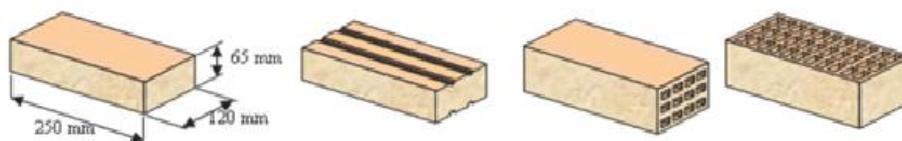
#### II.6.4 .3 Bloc perforé:

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.

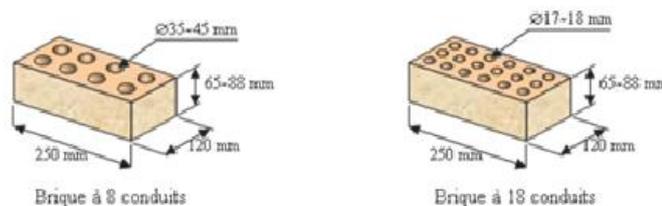
#### II.6.4 .4 Brique creuse de terre cuite: (Norme NF P 13-301)

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]

## II.7 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].

**II.7.1 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,

**II.7.1.1 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

**II.7.1.2 Tuile PLATE :** très répandue depuis le VIII<sup>ème</sup> 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].

**II.7.1.3 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 / m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup> [14].



- **Petit moule** : A la fin du 19<sup>ème</sup> 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<sup>2</sup>), qui convient parfaitement aux petites surfaces très pentues [14].





## II.7.2 Techniques de fabrication des tuiles

4 phases sont [26] :

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

## II.7.3 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,

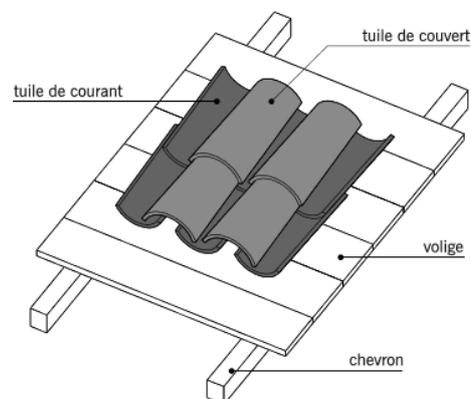


Figure II.18 Tuile canal posée sur voliges [23].

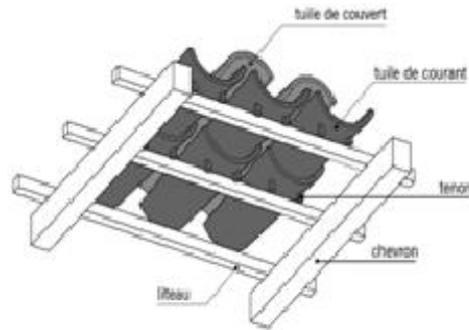


Figure II.19 Tuile canal posée sur l'inteaux [23].

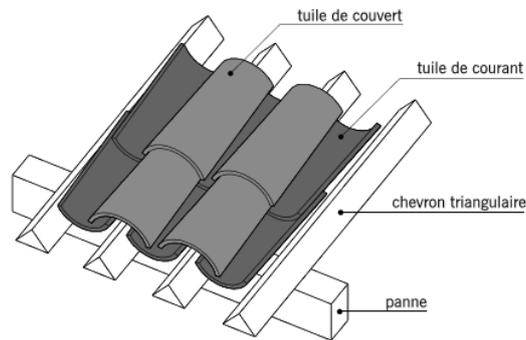


Figure II.20 Tuile canal posée sur cheverons triangulaires [23].



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

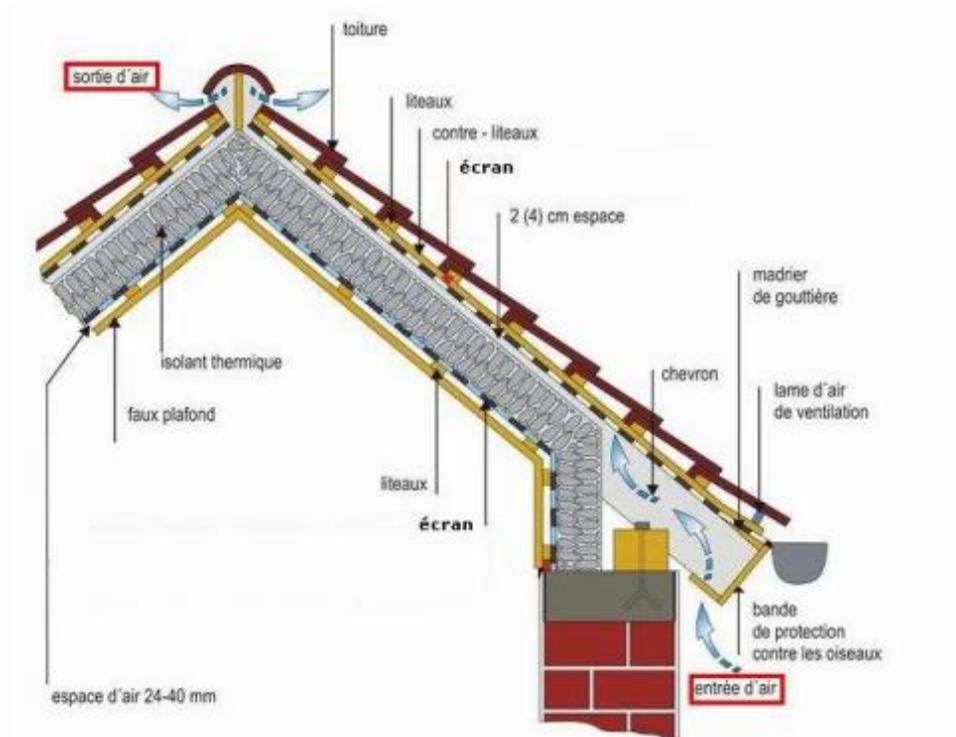


Figure II.22 Les différents couches d'une toiture [26].

### II.8.1 Définition de la céramique sanitaire

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

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

- la porcelaine (porcelaine sanitaire et vitrés), 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

### II.8.2 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.

### II.8.3 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.

## Quels sont les métaux ferreux et les métaux non-ferreux ?

### III.1 Généralité

On peut distinguer deux types de métaux, que l'on peut retrouver dans les habitations : les métaux ferreux et les métaux non-ferreux. Comme son nom l'indique, un métal ferreux désigne soit le fer, soit un métal essentiellement constitué de fer. Pour le reste, ce sont des métaux bien distincts qui ne possèdent pas de fer.

### III.2 Les métaux ferreux

Il faut savoir que les métaux ferreux ont bien moins de valeur que les métaux non-ferreux, car il s'agit d'une ressource naturelle que l'on trouve en abondance sur la Terre, qui est facile à utiliser et qui est de qualité inférieure : lorsque le fer s'oxyde, il rouille et il perd donc en fiabilité.

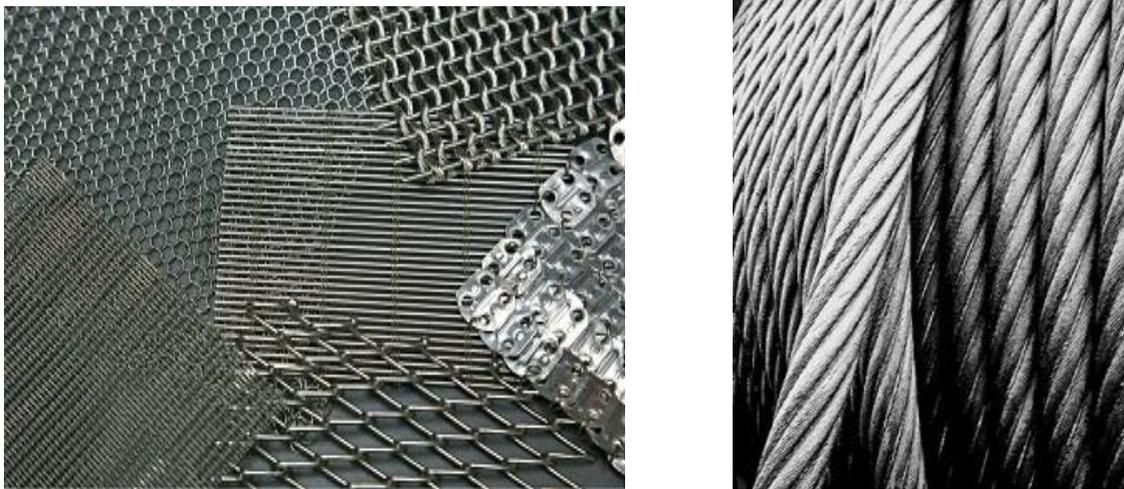


Figure III.1 Les métaux ferreux

#### III.2.1 Les aciers :

Acier c'est le fer allié à une quantité de Carbone inférieure à 2%.

Le point de fusion c'est 1400°C.

#### III.2.2 La fonte :

La fonte c'est un alliage de fer et de carbone (2 à 6 %)

### III.2.3 Le fer pur :

Fer presque pur avec une quantité de carbone inférieure à 0.1 %.

### III.2.4 Aciers Inoxydables :

Ce sont des aciers, alliage de fer et de carbone auquel on ajoute essentiellement le Chrome qui au delà de (12 à 13 %). Produit la résistance souhaitée à l'oxydation.

## III.3 Les métaux non-ferreux

Les métaux non-ferreux sont de meilleure qualité, ils ont plus de valeur et d'autres fonctionnalités.

On distingue deux types de métaux non ferreux.

#### a. Les métaux lourds :

Comme le cuivre, le plomb, le nickel, l'étain, le zinc.....

#### b. Les métaux légers :

Comme le titane, l'aluminium, le magnésium...

Les métaux possèdent des caractéristiques qui permettent de les travailler de manière très différente.

**Ductile** : on peut en tirer des fils

**Malléable** : on peut former des lames.

Tableau III.1 Les métaux non ferreux

Metal Pur	Propriétés	Applications
<p><b>Le cuivre</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De couleur rougeâtre</li> <li>• Excellent conducteur</li> <li>• Résistant à la corrosion</li> <li>• Très ductile et malléable</li> <li>• Se soude facilement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conducteur électrique et thermique</li> <li>• Fils, baguettes métalliques</li> </ul>
<p><b>L'étain</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De couleur blanche bleutée brillante</li> <li>• Mou</li> <li>• inoxydable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• on l'utilise surtout pour la soudure de composants électriques et électroniques.</li> <li>• On l'utilise aussi pour la soudure de tuyaux de chauffage et d'eau</li> </ul>
<p><b>Aluminium</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• de couleur blanche brillante</li> <li>• léger et bonne résistance à la corrosion</li> <li>• il n'est pas toxique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• câbles de lignes électriques de haute tension</li> <li>• menuiserie métallique</li> <li>• canettes de boissons</li> </ul>
<p><b>Zinc</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• de couleur blanche</li> <li>• très résistant à la corrosion et à l'oxydation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recouvrement de toits,</li> <li>• canaux et tuyaux</li> </ul>
<p><b>Le magnésium</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• très léger</li> <li>• très cher</li> <li>• quand il est liquide ou fondu il réagit violemment à l'oxydation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications aérospatiales car c'est un métal très léger</li> </ul>
<p><b>Le titane</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très cher</li> <li>• Résistant à la corrosion</li> <li>• Très bonne résistance mécanique</li> <li>• Il est biocompatible (utilisation dans les prothèses médicales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implants biomédicaux</li> <li>• Moteur turbo réacteur</li> <li>• Structures aéronefs</li> </ul>

### III.4 Les armatures pour béton armé

Les armatures sont obtenues à partir d'aciers pour béton armé suite à des opérations de dressage. Les armatures sont : (pour les couronnes uniquement), de coupe, de façonnage et d'assemblage. On distingue deux chantiers ; principaux types d'acier selon leur composition – chimique :

- l'acier au carbone ;
- l'acier inox.

Les aciers se présentent sous formes de barres de grande longueur (souvent 12 m) ou de fils en couronnes

- Barres droites lisses : diamètre 5 à 50 mm.
- barres droites à haute adhérence : diamètre 6 à 50 mm
- fils à haute adhérence en couronne : diamètre 5 à 16 mm.

On distingue les armatures « coupées-façonnées ». Qui sont obtenues par coupe et façonnage des aciers à la demande (en conformité avec les plans d'exécution définis par les bureaux d'études) et les « armatures assemblées » d'un modèle standard, constituées par assemblage des armatures coupées façonnées sous forme de « cages » ou de « panneaux » et utilisées par des applications courantes (semelles de fondation, poteaux, linteaux, etc.).

Les armatures sont :

Soit assemblées en usine, puis livrées sur le chantier.

Soit livrées sur chantier coupées, façonnées, puis assemblées sur le site, à proximité de l'ouvrage ou directement en coffrage.

Les armatures sont donc utilisées sur les chantiers et mises en place dans les coffrages :

- soit sous forme de barres (droites ou coupées-façonnées en fonction des formes décrites sur les plans d'exécution) .
- soit sous forme de treillis soudés (réseaux plans à mailles en général rectangulaires, constitués de fils ou de barres assemblés par soudage et dont la résistance au cisaillement des assemblages est garantie) fabriqués en usine et livrés en panneaux.
- soit sous forme d'armatures pré-assemblées en cages ou en panneaux.

En atelier, l'assemblage est réalisé par soudure.

Sur chantier, l'assemblage est effectué soit en atelier « forain » installé à proximité de l'ouvrage, soit directement en coffrage. En général, ces deux solutions coexistent. Il est possible de souder sur site, mais le plus souvent le montage se fait par ligatures avec des fils d'attache en acier.

L'acier pour béton armé est défini par ses caractéristiques de forme, géométriques, mécaniques et technologiques.

Les aciers sont désignés par leur limite d'élasticité garantie  $R_e$  en MPa, leur nuance et leur forme (lisse, haute adhérence). Par exemple, un acier HA FeE500-2 désigne un acier à haute adhérence (HA) présentant une limite élastique de 500 MPa et une classe de ductilité 2.

### III.5 Les caractéristiques des aciers

#### III.5.1 Les Caractéristiques de forme des aciers:

On distingue deux types d'aciers pour béton armé en fonction de leur forme et de leur surface [27].

- **Les aciers lisses** : barres lisses ou fils tréfilés une classe de ductilité 2. lisses. Elles sont de section circulaire sans aucune gravure.
- **Les aciers à haute adhérence** : dont la surface présente des saillies ou des creux. La surface de ces armatures présente des aspérités en saillies inclinées par rapport à l'axe de la barre appelée verrous ou des aspérités en creux appelées empreintes qui sont destinées à favoriser l'adhérence des armatures au sein du béton.

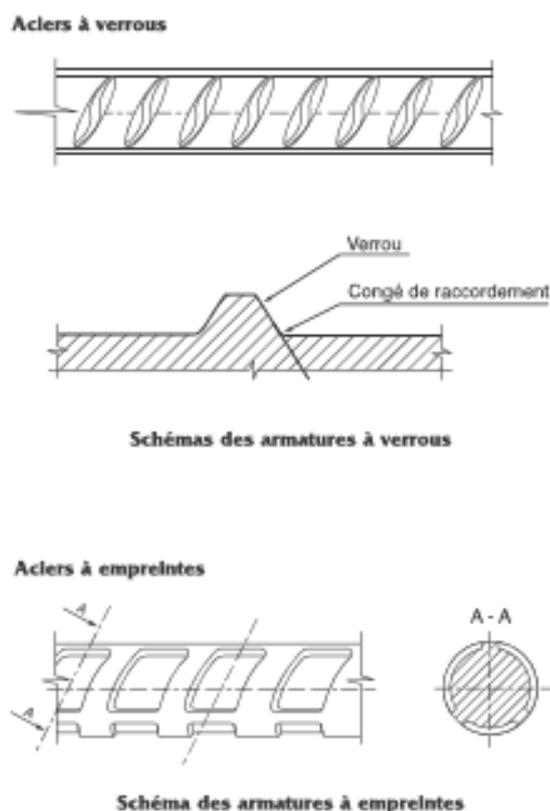


Figure III.2 Les Caractéristiques de forme des aciers [27]

### III.5.2 Les Caractéristiques géométriques des aciers :

Les diamètres prévus par la norme NF EN 10080 sont donnés dans le tableau ci-contre .

**Tableau III.2 Les caractéristiques géométriques des aciers [27].**

<i>diamètres nominaux préférentiels sections et masse linéiques nominales</i>					
<i>Diamètre nominal en mm</i>	<i>Barres</i>	<i>Couronnes et produits déroulé</i>	<i>Treillis soudés</i>	<i>Section nominale en mm<sup>2</sup></i>	<i>Masse linéique nominale en kg/m</i>
4,0		x		12,6	0,099
4,5		x		15,9	0,125
5,0		<b>XX</b>	x	19,6	0,154
5,5		x	x	23,8	0,187
6,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	28,3	0,222
6,5		x	x	33,2	0,260
7,0		<b>XX</b>	x	38,5	0,302
7,5		x	x	44,2	0,347
8,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	50,3	0,395
8,5		x	x	56,7	0,445
9,0		x	x	63,6	0,499
9,5		x	x	70,9	0,556
10,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	78,5	0,617
11,0		x	x	95,0	0,746
12,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	113,0	0,888
14,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	154,0	1,210
16,0	<b>XX</b>	<b>XX</b>	x	201,0	1,580
20,0	<b>XX</b>			314,0	2,470
25,0	<b>XX</b>			491,0	3,850
28,0	<b>XX</b>			616,0	4,830
32,0	<b>XX</b>			804,0	6,310
40,0	<b>XX</b>			1257,0	9,860
50,0	x			1963,0	15,400

### III.6 La liaison acier béton adhérence

La résistance d'un élément en béton armé et la maîtrise de la fissuration supposent que l'acier ne puisse pas glisser à l'intérieur du béton, c'est-à-dire qu'il y ait adhérence parfaite entre les deux matériaux.

L'adhérence des armatures est fonction de leur forme, de leur surface (les saillies ou les creux améliorent l'adhérence) et de la résistance du béton.

Le fonctionnement du béton armé suppose une « association » entre l'acier et le béton qui met en jeu l'adhérence des armatures au béton. Pour utiliser pleinement des aciers plus performants [27].

### III.7 Les propriétés pour le dimensionnement

Les propriétés des armatures sont définies comme suit [27] :

#### III.7.1 La soudabilité

Un acier est dit « soudable » s'il est possible de l'assembler par soudure sans altérer ses caractéristiques mécaniques.

#### III.7.2 L'adhérence et géométrie de la surface

La géométrie de surface des aciers des caractéristiques permettant d'assurer l'adhérence acier/béton.

#### III.7.3 Non fragilité (aptitude au pliage)

L'armature doit s'adapter lors des opérations de façonnage à des formes complexes ce qui implique courbures et pliages ; l'acier doit donc présenter Les prescriptions relatives aux aciers se traduisent une bonne aptitude au pliage.

### III.8 Les Caractéristiques mécaniques en traction

La résistance mécanique d'un acier est déterminée par un essai de traction normalisé, elle est caractérisée par :

La résistance maximale à la traction.

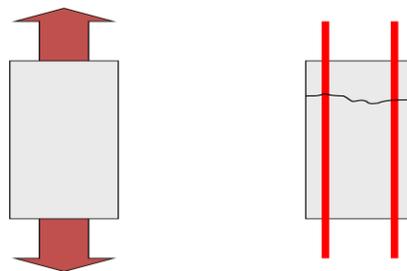
La limite d'élasticité ou module d'élasticité.

Le béton est caractérisé par son excellente résistance à la compression et une mauvaise résistance à la traction. Les zones tendues sont fissurées.

L'acier bénéficie d'une excellente résistance en compression et en traction. Mais dans le cas de la compression il faut veiller à éviter le flambement des armatures.

La traction peut résulter principalement soit :

- a) d'une sollicitation de traction simple.



Cas des suspentes, des tirants, des chaînages, des ceintures de traction (réservoirs)...

Figure III.3 La traction simple [17]

➤ b) d'une sollicitation de flexion simple.

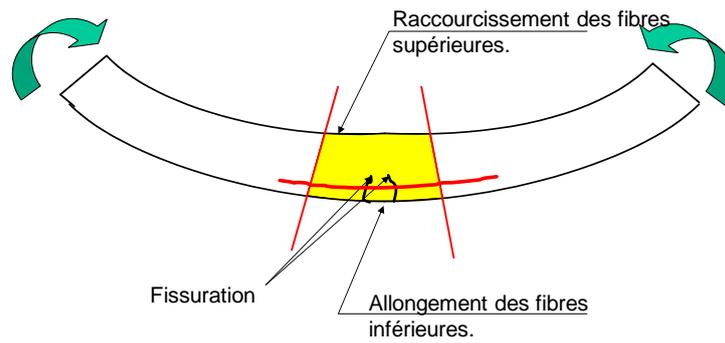


Figure III.4 La flexion simple [17]

➤ c) d'une sollicitation de cisaillement

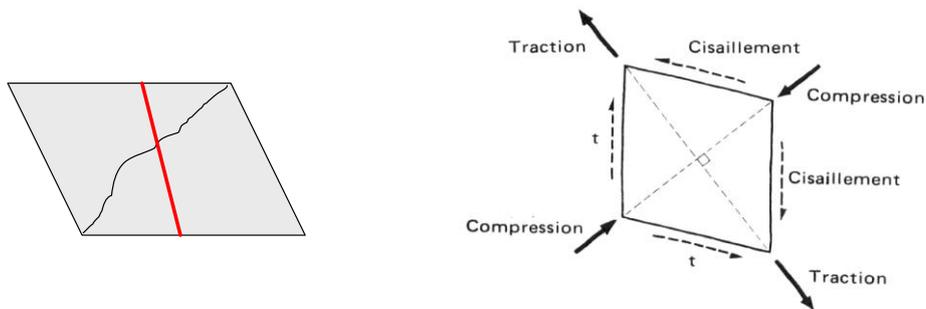
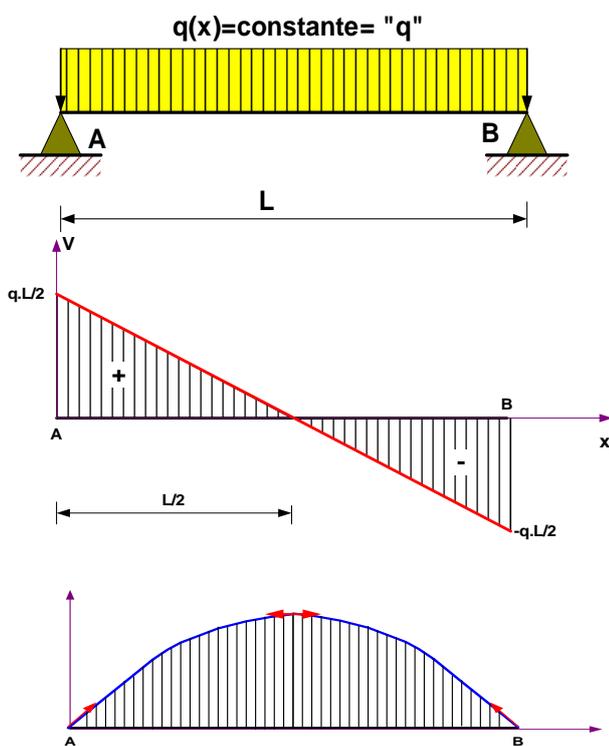


Figure III.5 Le cisaillement [17]



$N = 0$   
 $T \neq 0$   
 $M \neq 0$

Fissures de cisaillement inclinées à 45° dues à l'effort tranchant  
**Armatures transversales** (généralement dans les plans verticaux, plus denses dans les zones de fort effort tranchant)

Fissures de flexion verticales dues au moment fléchissant  
**Armatures longitudinales**  
 Dans la direction de la fibre moyenne



Figure III.6 La présence des fissures dans les éléments en Béton [17]

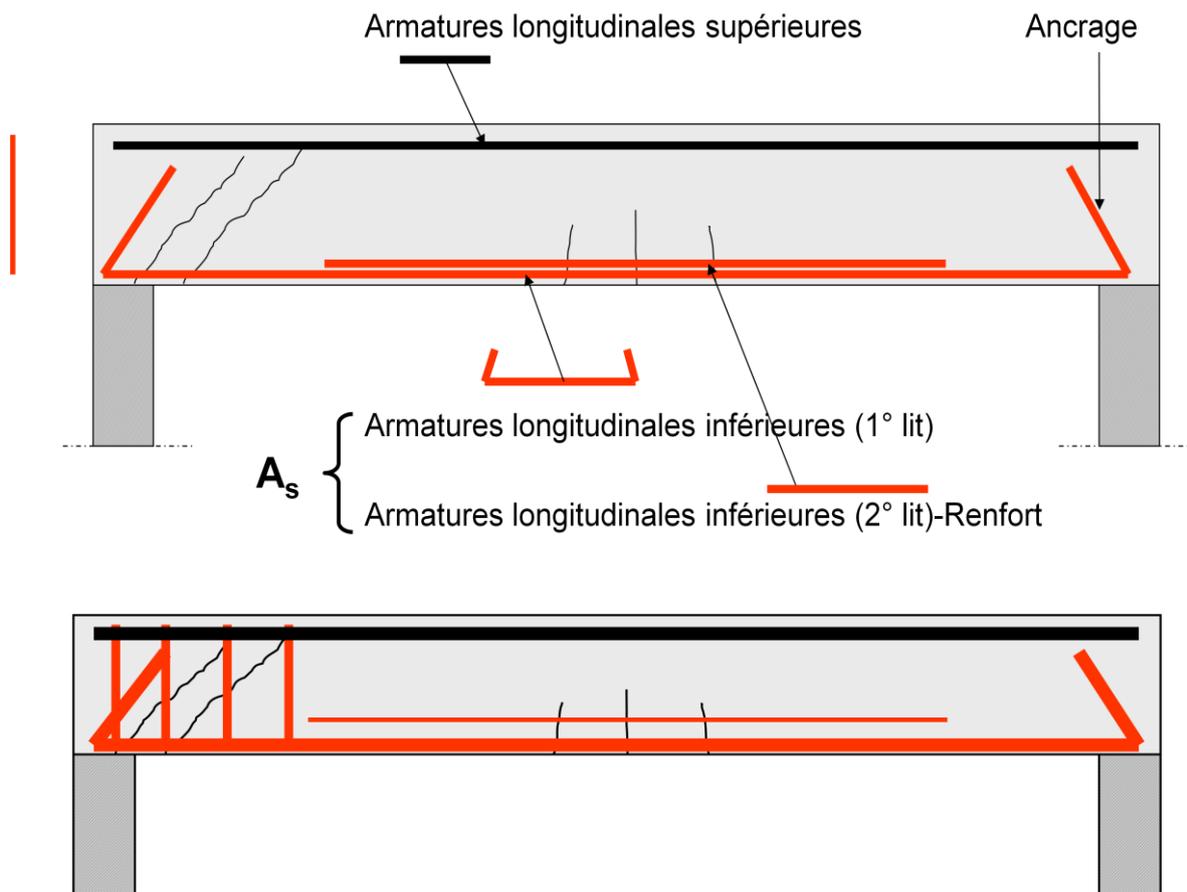


Figure III.7 La représentation des armatures dans une poutre en Béton armé [17]

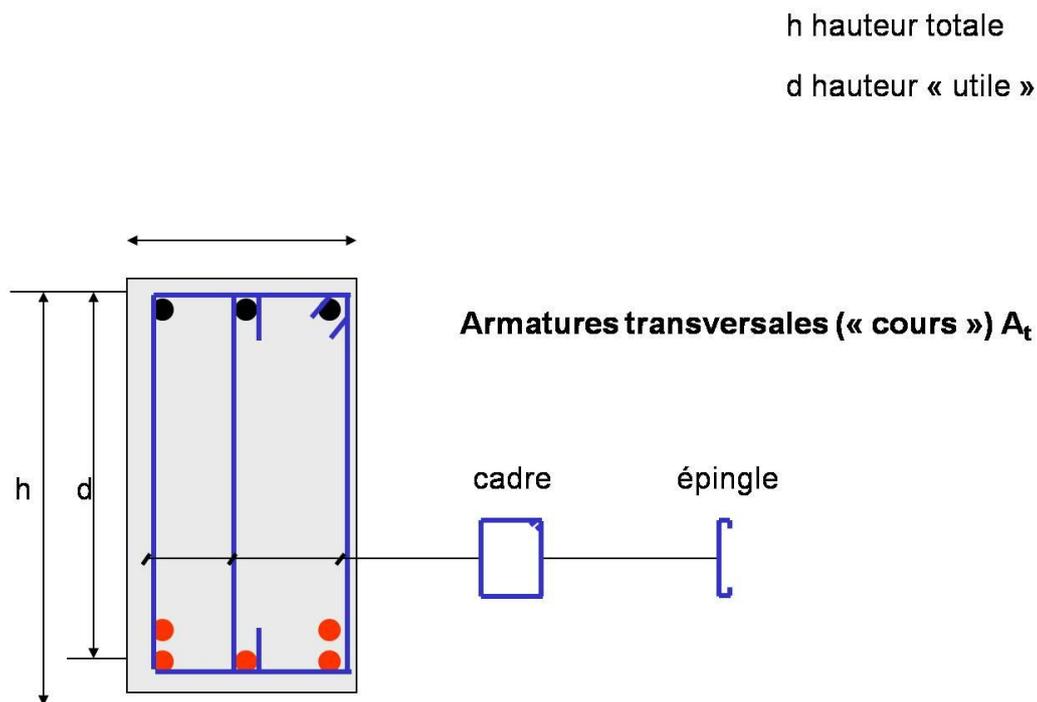


Figure III.8 La représentation des armatures transversales (les cadres et épingles) [17]

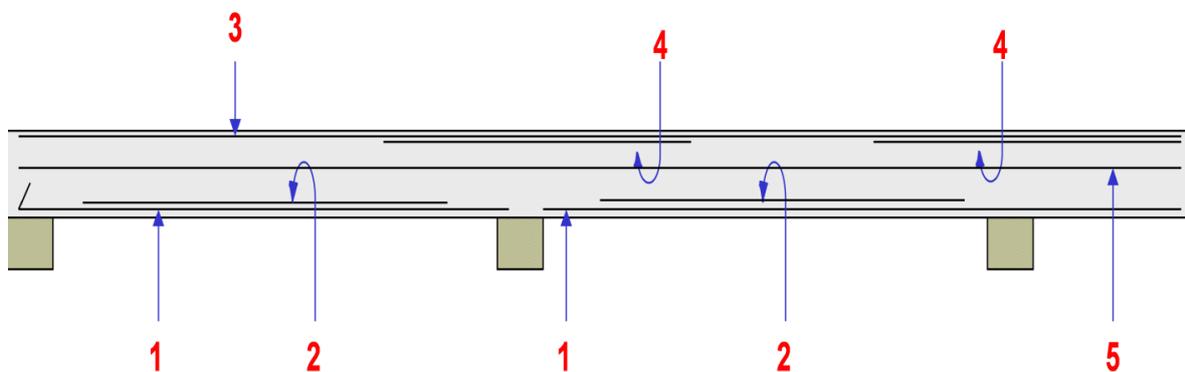


Figure III.9 La représentation des armatures longitudinales pour une poutre continues [17]

1. Aciers longitudinaux inférieurs calculés à l'ELU ou à l'ELS. Disposition symétrique par rapport au plan moyen. 2 à 3 « lits »
2. Renforts calculés avec les précédents. Longueur définie à partir de la courbe des moments fléchissant (moments résistants aciers).
3. Aciers longitudinaux supérieurs construction maintien des armatures transversales (non calculés) peuvent aussi concourir à la résistance à la compression (calculés et maintenus transversalement pour éviter le flambement)

4. Aciers de « chapeau » : servent à équilibrer les moments occasionnant des fissures en partie supérieure
5. Aciers de peau, non calculés : limitation de la fissuration du béton en surface, affermissement de la « cage » d'armatures, résistance à la torsion.

➤ e) La longueur de recouvrement

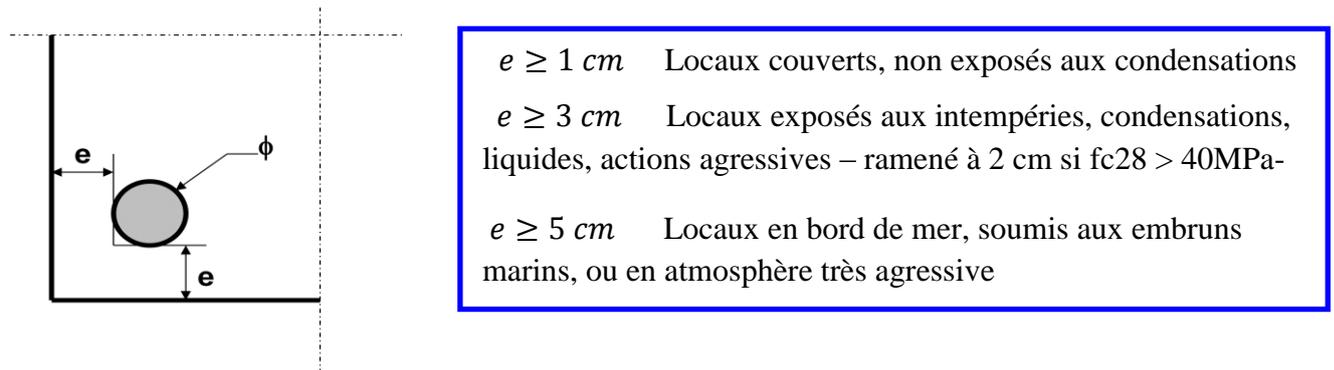


Figure III.10 Le recouvrement des armatures [17]

### III.9 La fabrication et pose en coffrage des armatures

Le cycle des armatures englobe toutes les opérations qui, partant des aciers en barres ou en couronnes, se terminent lorsque les armatures ont été mises en place dans le coffrage et contrôlées avant bétonnage [18], [19].

La Figure 3.10 présente les divers processus de production des armatures sur plans habituellement utilisés.

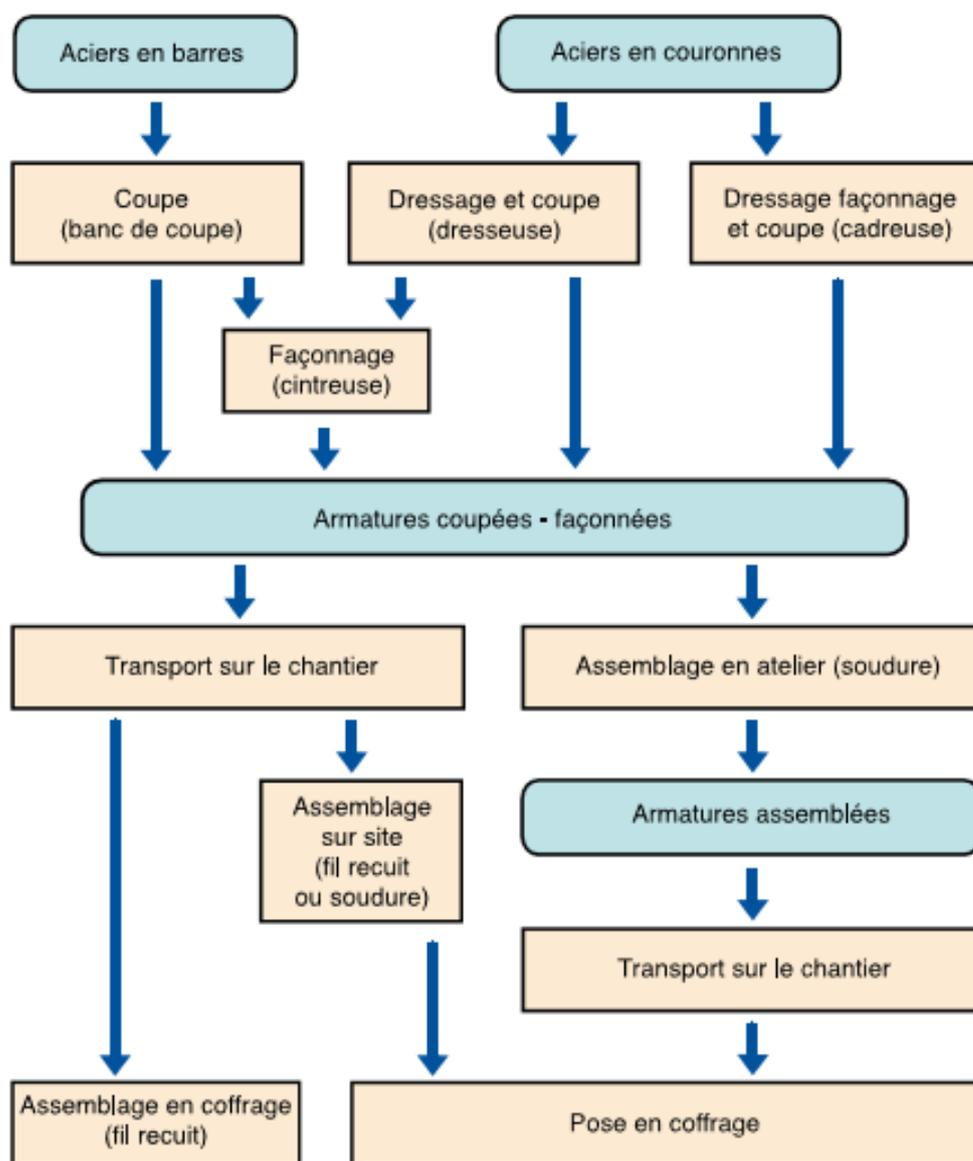


Figure III.11 présente les divers processus de production des armatures [18],

### III.9.1 Le dressage :

La recherche d'une diminution des chutes d'acier et d'une meilleure productivité a conduit à un développement des aciers livrés en couronnes plutôt qu'en barres. Limité à l'origine aux petits diamètres, ce conditionnement existe aujourd'hui jusqu'au diamètre 20 mm. Cette opération est réalisée dans une dresseuse.

Certaines machines (dresseuses) effectuent uniquement le dressage et la coupe en barres droites, d'autres (cadreuses) réalisent le façonnage directement après cette opération [18], [19]

*Dresseuse.**Cadreuse-dresseuse.*

Figure III.12 La dresseuse-cadreuse [18]

### III.9.2 La coupe :

C'est une opération simple qui s'effectue, soit directement sur les barres avec des cisailles mécaniques, soit sur les dresseuses dans le cas des fils livrés en couronnes. Dans les cadreuses, la coupe est effectuée en fin de façonnage [18], [19]

*Cisaille.*

Figure III.13 Le cisaille [18]

### III.9.3 Le façonnage à froid:

Dans le cas des fils, le façonnage s'effectue directement après le dressage dans des cadreuses.

Les formes sont programmées par l'opérateur à partir des tableaux de nomenclatures.

Les barres coupées sont façonnées sur des cintreuses [18], [19]



Figure III.14 Le façonnage à froid des armatures [18]

### III.9.4 L'assemblage :

L'assemblage des armatures coupées façonnées (appelé couramment montage) est réalisé soit en usine, soit sur chantier soit, le plus souvent, de façon mixte.

En atelier, l'assemblage est réalisé par soudure.

Sur chantier, il est possible de souder sur site, mais le plus souvent, le montage se fait par ligatures avec des fils d'attache en acier [18], [19].

*Machine à souder les panneaux.*



*Soudage semi-automatique.*

*Machine à souder les armatures de pieux de fondation.*



*Poteau en cours de montage.*

Figure III.15 L'assemblage des armatures [18]

### III.10 L'ancrages des cadres et étriers :

La norme NF EN 1992-1-1 préconise un certain nombre d'ancrages pour la fermeture des cadres et étriers.

Angle de pliage	Prescriptions des règles BAEI 91	Prescriptions de l'Eurocode 2 Partie 1-1
90°		
135°		
150°		
180°		

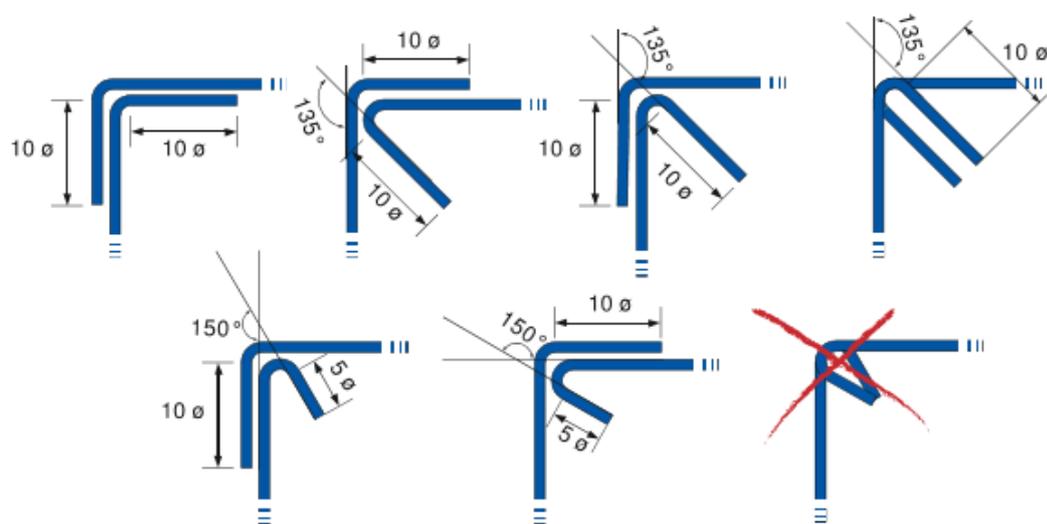


Figure III.16 Les armatures transversales. Exemple de combinaisons d'ancrages conforme à l'Eurocode 2 [18].

**III.11 Tracé des armatures d'effort tranchant :**

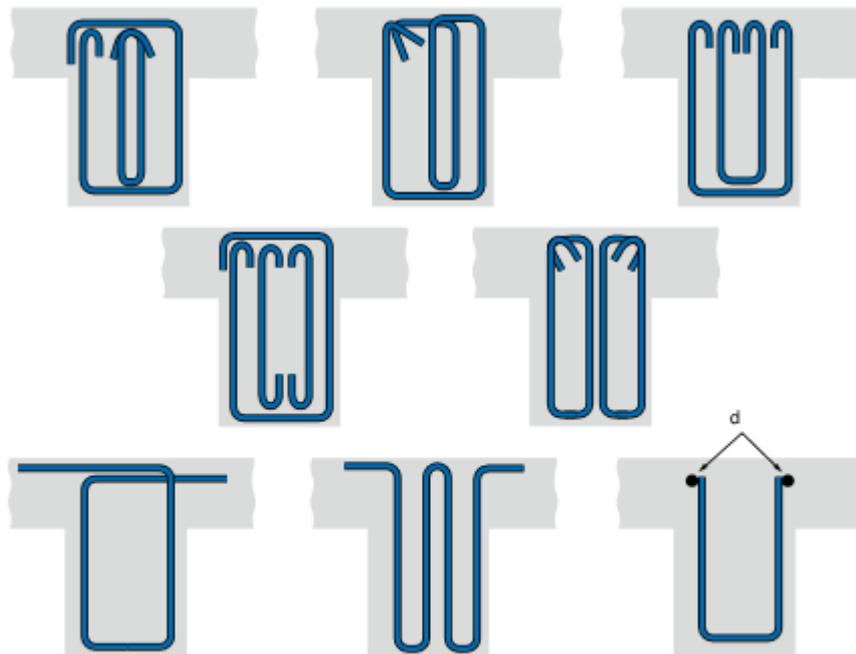


Figure III.17 Les armatures transversales de poutres fléchies Conforme à la norme NF EN 1992-1-1 [18].

**III.12 Tracé des armatures transversales des pièces soumises à la torsion:**

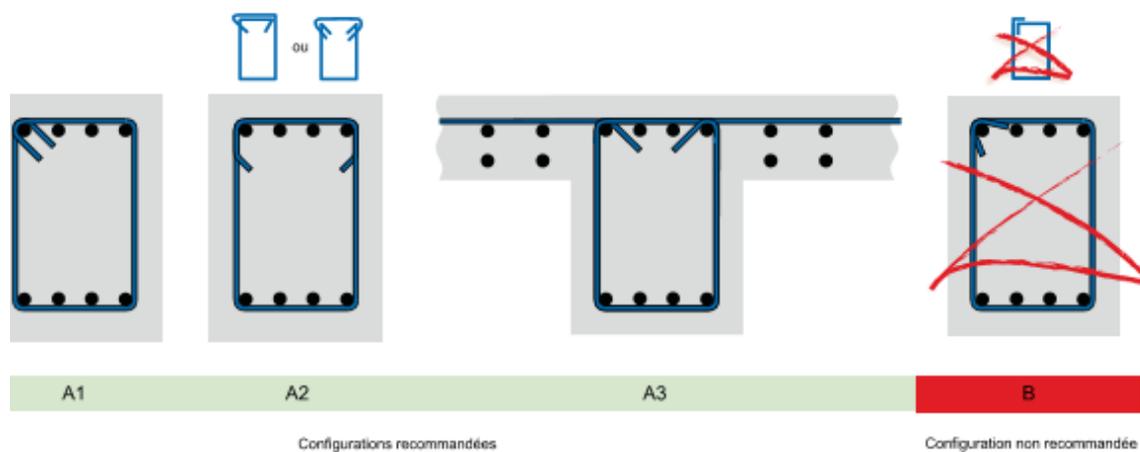


Figure III.18 Les armatures transversales de torsion recommandées par la norme NF EN 1992-1-1 [18]

### III.13 Les armatures façonnées proches des parements Poussée au vide

La figure III.19 montre les armatures tendues de poutre brisée comme par exemple les limons d'escaliers pouvant donner lieu à une poussée au vide

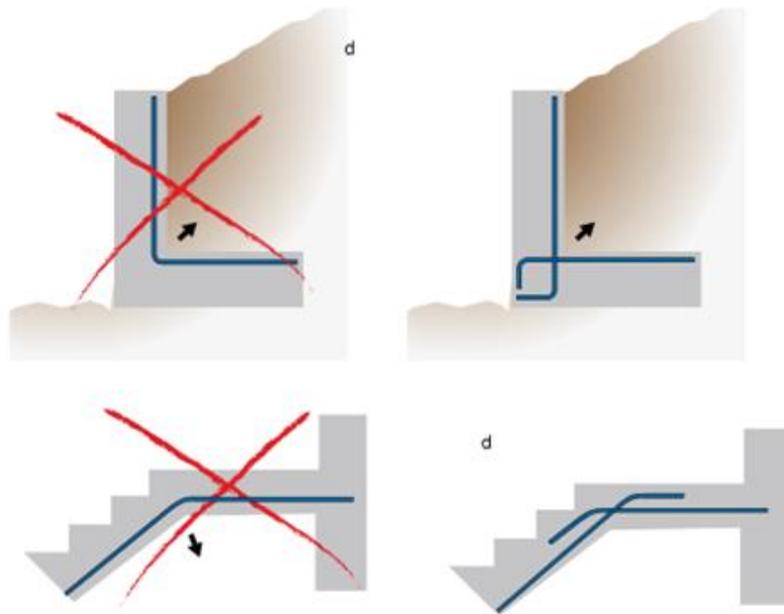


Figure III.19 exemples de poussée au vide d'armatures tendues et solution alternative [18]

La Figure III.20 représente schématiquement un ferrailage de console comportant deux lits de barres de façonnages identiques.

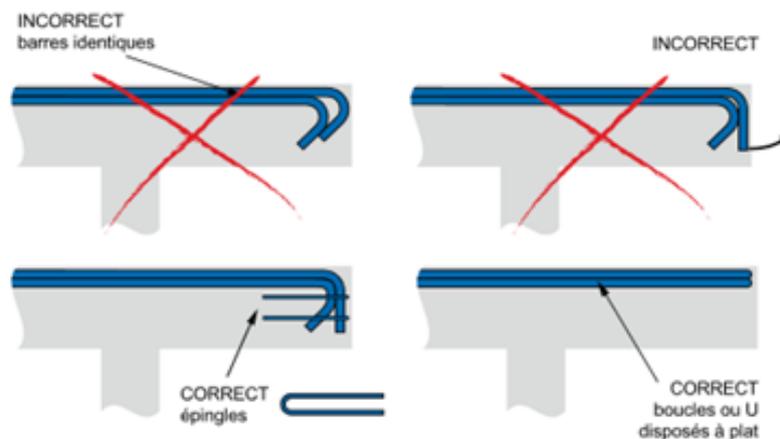


Figure III.20 Exemples de poussée au vide d'ancrage et solution alternative [18]

### 3.14 La protection des métaux ferreux contre la corrosion

#### 3.14.1 Description du phénomène

**Corrosion métal** : caractérisé par la détérioration d'un métal jusqu'à sa destruction complète sous l'action d'un milieu ambiant agressif. Elle provient souvent d'une cause mécanique comme un frottement ou une cause chimique comme le sel, un milieu acide ou basique. Les surfaces métalliques sont en général en contact avec de l'oxygène, de l'eau et des polluants de toutes sortes.

Ces éléments extérieurs combinés provoquent une véritable transformation des métaux ferreux au fil du temps. Le fer se combine avec l'eau et l'oxygène jusqu'à créer de la corrosion. Cette rouille rougeâtre va constituer une couche poreuse qui finit par cloquer. L'humidité extérieure réagit avec le métal pour le détruire totalement au fur et à mesure.

Le fer va se corroder petit à petit pour se dégrader jusqu'à sa disparition totale. Il est alors littéralement consommé par cette action de corrosion. Le fer doit donc être préservé par une couche isolante de vernis ou de peinture. Il ne faut pas que l'eau ou l'air puisse traverser cette véritable barrière si l'on veut stopper définitivement toute réaction chimique.

La corrosion peut apparaître sous trois formes :

➤ **Corrosion uniforme :**

Le métal se dissout régulièrement et uniformément. La résistance mécanique décroît proportionnellement à la diminution d'épaisseur, donc perte de poids [30].

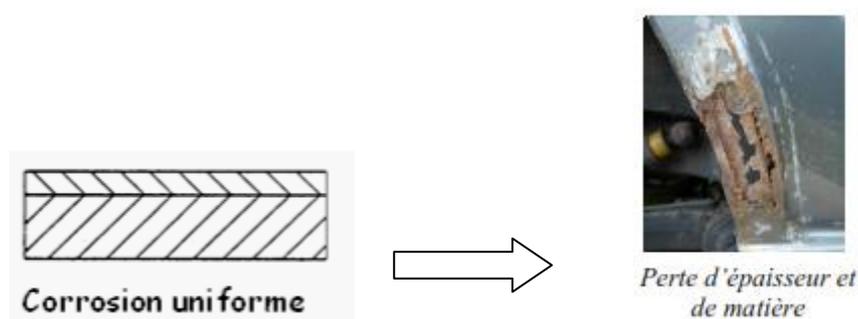


Figure III.21 Corrosion uniforme [30]

➤ **Corrosion localisée :**

L'attaque se fait sous forme de piqûres ou de sillons, la surface finissant par devenir tout à fait rugueuse. Cette forme de corrosion affecte surtout la capacité de déformation du métal, plus rapidement que la perte de masse ne laisserait prévoir [30].

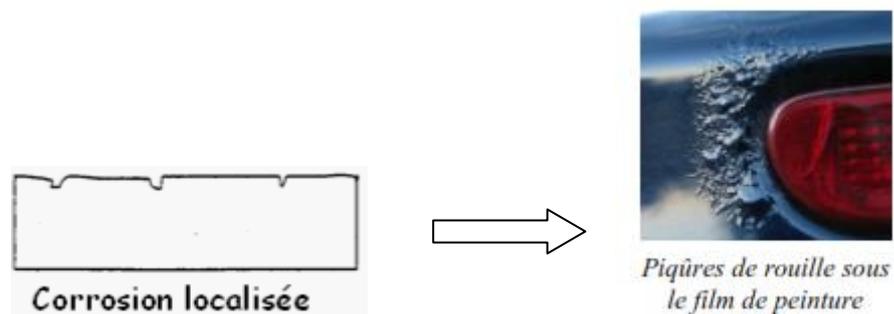


Figure III.22 Corrosion localisée [30]

➤ **La corrosion inter-cristalline :**

Alors que dans les modes précédentes, l'attaque se manifeste en surface, la corrosion inter cristalline (ou inter granulaire) se propage en profondeur par cheminement le long des joints des cristaux. Ses effets sont particulièrement graves. Le métal peut se rompre sous le moindre effort sans qu'il ait subi de perte de poids sensible, et parfois même sans altération visible de la surface [30].

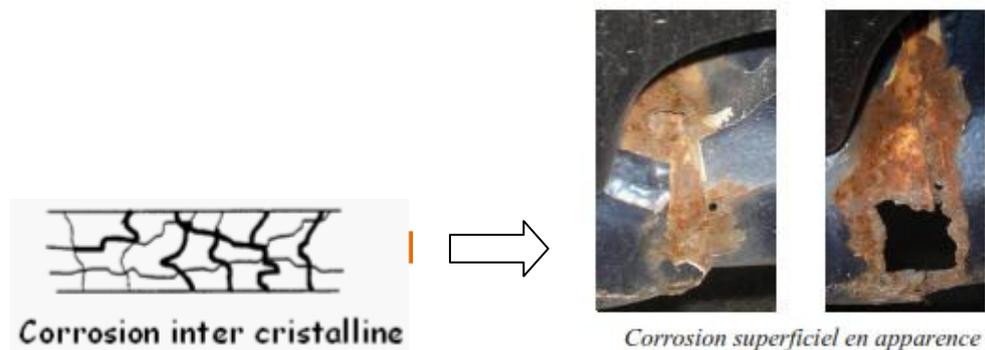


Figure III.23 Corrosion inter cristalline [30]

La résistance d'un métal à la corrosion doit être examinée en fonction de l'ambiance dans laquelle il se trouve placé en service : air sec ou humide et chaud, brouillard dans les régions à climat maritime, air pollué et acides des villes industrielles, air salin, eau douce, eaux industrielles, températures élevées, ...etc.

Pour lutter contre la corrosion métallique, on emploie des enduits, isolants la surface du métal de l'air ou du milieu ambiant (dépôts électrolytiques, procédés chimiques, peintures et vernis). Ces revêtements doivent présenter une adhérence sans discontinuités ni fissures, imperméables au milieu corrodant, durs et résistants aux détériorations mécaniques, de coefficients de dilatation voisins de celui du métal sous-jacent et d'un prix qui ne doit pas être prohibitif.

## Le verre

### VI.1 Définition

Le verre est un matériau connu depuis plus de 5000 ans. Toutefois, ce n'est qu'aux environs de 1920 que la mécanisation est apparue dans les processus de production.

Le processus de fabrication comprend essentiellement trois phases [21] :

1. L'élaboration du verre proprement dite, au départ des matières premières comprenant :
  - La fusion aux environs de 1500°C et
  - L'affinage aux environs de 1400°C .

Cette dernière opération consiste essentiellement à débarrasser le verre fondu des gaz pouvant apparaître sous forme de bulles.

2. Le façonnage, 'est a dire la mise en forme des produit verriers, souvent précédée d'un conditionnement qui amène le verre dans un état ou il peut être travaillé.
3. La recuisson, traitement thermique particulier qui en réduisant les contraintes internes, rend le verre utilisable.

### VI.2 Fabrication Des Verres Industriels

Pour fabriquer un verre, on part d'un ensemble de matières premières constitué de roches naturelles (sable, calcaire) et de produits chimiques industriels (carbonate de sodium), pris en proportions définies. Ce mélange hétérogène vitrifiable, appelé en langage verrier «composition », est porté à la fusion dans un four approprié. Mise à part les corps volatils qui s'échappent au cours de cette opération, tous les constituants du mélange initial (y compris les impuretés indésirables) fondent et forment un liquide homogène appelé verre fondu ou fonte qui vitrifie par refroidissement.

Le processus d'élaboration du verre fondu est immédiatement suivi de la mise en forme et du refroidissement contrôlé, de l'objet définitif ou d'une bande continue (verre plat). Dans Le cas d'une bande de verre des éléments seront découpés et subirons, si nécessaire, d'autres traitements thermiques, mécaniques ou chimiques. Mise à part les modifications que peuvent apporter certains de ces traitements spécifiques, les propriétés du verre sont essentiellement fixées dès le départ par la nature et les proportions des constituants de la « composition ». Elles déterminent la qualité du verre et conditionnent les processus d'élaboration et de mise en forme [33].

### VI.3 La Composition

Les principales matières premières utilisées se classent en trois catégories :

(Les vitrifiants, les fondants, et les stabilisants). A ces matières s'ajoutent

(Les affinants, les colorants et les opalisants) [21], [22].

La principale fonction de ses diverses catégories s'explique par leur désignation :

- **Les vitrifiants** : sont des éléments de base qui créent la structure vitreuse. (la silice  $\text{SiO}_2$ , l'anhydrite borique  $\text{B}_2\text{O}_3$  sont les principaux vitrifiants utilisés. La silice est introduite sous forme de sable. Des caractéristiques strictes de pureté et de granulométrie doivent être respectées.
- **Les fondants** : permettent de fondre les vitrifiants à des températures acceptables. Parmi les fondants qui favorisent le passage de la silice à l'état vitreux, on compte les alcalins qui sont principalement utilisés sous forme carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{O}$  ou de potassium  $\text{K}_2\text{O}$  appelés « soude » et « potasse »
- **Les stabilisants** : permettent d'empêcher la détérioration dans le temps des verres fondus. Les stabilisants qui doivent conduire à une diminution de l'altération des verres par les agents atmosphériques consistent essentiellement en chaux  $\text{CaO}$ , magnésie  $\text{MgO}$ .
- **Les affinants** : facilitent l'élimination des gaz provenant des réactions chimiques. On choisit comme affinants des substances qui dégagent par échauffement une quantité relativement importante de gaz tout en favorisant l'homogénéisation du verre. On emploie le sulfate de sodium et le nitrate de sodium et de potassium.
- **Les colorants** : apportent les éléments nécessaires à la coloration du verre. Les colorants jouent un rôle dans la fabrication du verre parmi eux on peut citer (chrome Cr, oxyde de manganèse Mn, le fer Fe, cobalt Co, nickel Ni, cuivre Cu, vanadium V). pour des verres clairs ils doivent être éliminés.
- **Les opalisants** : sont utilisés lorsque les verres ne doivent pas être transparents. parmi les opalisants on doit citer le fluor et les phosphates.

D'autres matières premières sont toute fois utilisées pour obtenir des verres à propriétés particulières. Les oxydes de plomb par exemple sont utilisés pour la fabrication du verre cristal et les oxydes de bore, de baryum et zinc dans celle de certains verres de laboratoire. A ces matières premières sont ajoutés des déchets de verre récupérés. Ils facilitent la fusion des matières premières et contribuent à des économies d'énergie et la l'élimination des déchets.

#### VI.4 Les Principaux Secteurs De L'industrie Du Verre :

**VI.4.1 Le verre plat :** est un verre fabriqué sous forme de feuilles<sup>1</sup>. Il est principalement utilisé pour la fabrication des vitres et des miroirs. Les verres plats, constituent avec les verres creux, les fibres de verre et les verres cellulaires, les principales familles de verre [21], [20].

Tableau VI.4.2 Procédés industriels

Procédé	Type de verre	Définition	Exemples
<b>Étirage</b> (procédés Fourcault, Pittsburgh, Colburn, Libbey-Owens, étirage vers le bas)	<b>Verre étiré</b> (ancien verre à vitre)		
<b>Laminage</b> (procédés Bichereux, PPG)	<b>Verre laminé</b> (appelé <u>verre coulé</u> )	Le verre fondu est passé entre deux cylindres lamineurs	<u>Verres imprimés, verres armés</u> , verres spéciaux pour des applications particulières.
<b>Flottage</b>	<b>Verre flotté</b> ou float glass	Le verre fondu est versé sur un bain d'étain liquide et s'y étale en formant un ruban continu <sup>4</sup>	La majorité des verres plats

A présent, la technologie « float » est utilisée pour la production de verre plat dans différentes applications :

- bâtiment et architecture ;
- automobile ;
- vitrierie ;
- miroiterie ;



Figure VI.1 Le verre plat

### VI.4.3 Transformation du verre plat :

#### VI.4.3.1. Verre de sécurité trempé et feuillés

Comme signalé précédemment, le verre peut subir un traitement thermique qui renforce sa résistance mécanique superficielle. On obtient du verre dit trempé.

Pour ce faire le verre est amené aux environs de 650°C avant d'être refroidi brutalement par des jets d'air.

Les principales applications de ce verre se retrouvant dans le bâtiment (portes, les cabines de douche ...) dans le secteur d'automobile (pare brise de véhicule de chantier..)

Le verre trempé peut être recouvert avant le traitement d'un email qui se vitrifie aux températures atteintes lors de l'échauffement précédent la tempe.

On peut assembler deux ou plusieurs feuilles de verre entre elles sur toute la surface par l'intermédiaire d'une ou plusieurs couches de matériaux plastiques. On obtient alors du verre dit feuilleté qui sont très résistant à la pénétration accidentelle ou volontaire de personnes ou d'objet, c'est-à-dire qui offrent une protection contre les risques. Ils sont utilisés dans le secteur de construction (vitrines de magasins luxe, guichet de banque, les prisons, le vitrage d'automobile...) [21], [20].

#### VI.4.3.2 Les vitrages isolant :

Dans ce cas les feuilles de verre sont assemblées en double ou en triple vitrages en laissant entre elles un espace pouvant contenir de l'air ou un gaz à caractéristique particulière.

Ces vitrages ont des propriétés d'isolation thermique et acoustique qui procurent de nettes économies d'énergie et permettent de prévoir des grandes fenêtres [21], [20].



Figure VI.2 Le verre isolant



Figure VI.3 Le vitrage d'automobile

### VI.4.3.3 Les miroirs

### VI.5. le verre creux

#### VI.5.1 gobeletterie, cristallerie :

La gobeletterie comme la cristallerie a quasi entièrement perdu son caractère manuel, du moins pour ce qui concerne la production d'objet à usage courant [21], [20].

Comme signalé antérieurement, c'est essentiellement la composition (pourcentage en éléments lourds notamment en plomb) qui procure au cristal son poids et son éclat.



Figure VI.3 La cristallerie



Figure VI.4 La gobeletterie

### VI.5.2 verre d'emballage

Verre d'emballage (bouteilles, flacons, pots...) est produit d'une façon automatique à l'aide de machines alimentées d'une manière continu au départ du bassin fusion [21].

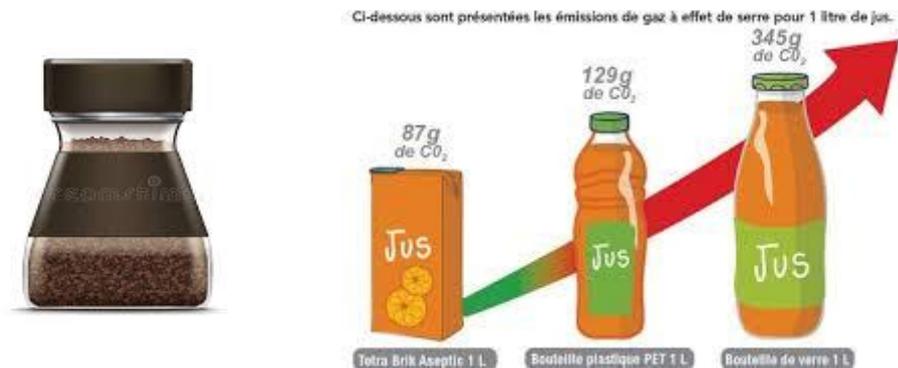


Figure VI.5 Le Verre d'emballage

### VI.6. Le verre technique

#### VI.6.1 Fibres de verres textiles et non textiles

On doit distinguer la fibre textile utilisée pour la confection de tissus et comme fibre de renforcement notamment des matières plastiques. Les fibres textiles sont également utilisées pour le renforcement des pneumatiques de voiture [21], [21], [20].

La fibre non textile utilisée pour d'isolation thermique et acoustique (comme isolation des bâtiments, on peut également injecter la laine de verre à l'intérieur de mur creux.



Figure VI.6 Les verres textiles et non textiles

### VI.6.2 Les fibres optiques

Ils sont utilisés dans le domaine de médecine pour observation interne du corps humain et dans le domaine de télécommunication à courte et à longue distance.

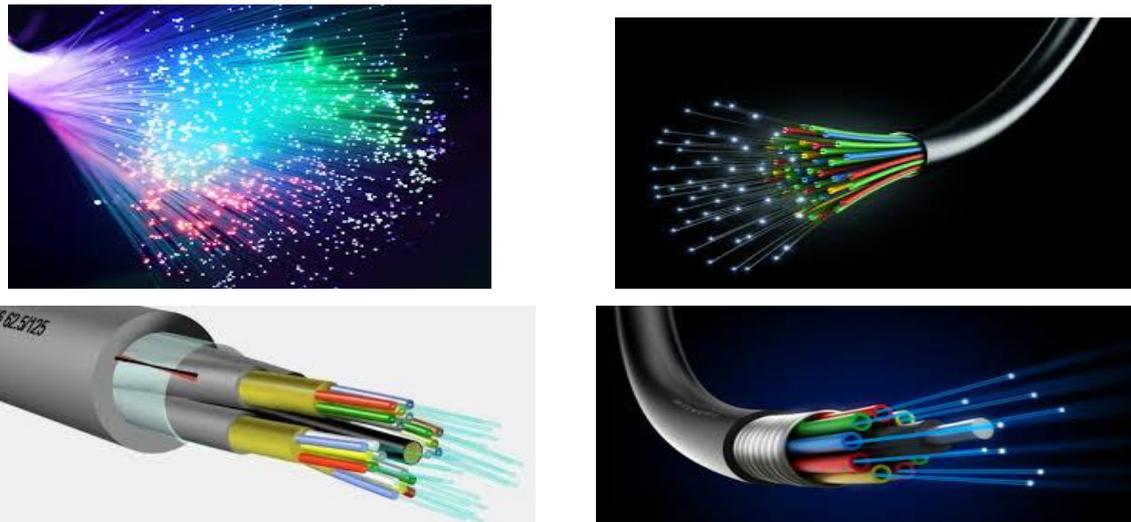


Figure VI.7 Les fibres optiques

### VI.6.3 Le verre cellulaire

D'origine recyclée (idéalement) ou naturelle (sable siliceux, feldspath...), le verre cellulaire est fabriqué par cuisson à 1000 °C. À la matière fondue est ajoutée, après broyage, du carbone en très faible quantité (0,15 %) qui provoque un dégagement interne de CO<sup>2</sup>. Au refroidissement, ce gaz inerte se retrouve enfermé dans des millions de micro-cellules, ce qui donne un matériau « moussé » aux propriétés isolantes et dimensionnellement stable.

On l'utilise pour l'isolation thermo-acoustique du bâtiment tant en isolation par l'intérieur que par l'extérieur.



Figure VI.8 Bloc moussé après refroidissement.



Figure VI.9 Bloc de verre cellulaire servant à créer une barrière étanche entre sol et parois maçonnées.

## TP N°1 DÉTERMINATION DU MODULE DE FINESSE ET DU TAUX DES FINES DU SABLE

### But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminer le module de finesse et le taux des fines du sable constituant l'échantillon.

### Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains à l'aide d'une série de tamis, emboîtés les uns dans les autres, dont les ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. On place ensuite le matériau en partie supérieure et on obtient le classement par vibration de la colonne de tamis.

### Equipement nécessaire :

Ce sont des tamis qui sont constitués d'un maillage métallique définissant des trous carrés de dimensions normalisées.

La dimension des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est à dire par la grandeur de l'ouverture du carré, elles vont de 0.08 (module 20) à 80 mm (module 50).

Il est également conseillé, dans la mesure du possible, d'utiliser une machine à tamiser électrique, ce qui permet des résultats plus fiables.

modules	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
tamis	0.08	0.100	0.125	0.16	0.200	0.250	0.315	0.40	0.50	0.63	0.80
modules	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
tamis	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.3	8	10
modules	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
tamis	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		



### Conduite de l'essai :

Cet essai est applicable à des granulats non souillés par une fraction argileuse significative. Il est impératif de prendre toutes les précautions nécessaires afin de ne pas perdre les éléments fins présents dans l'échantillon.

### Préparation de l'échantillon

La quantité prélevée doit répondre à plusieurs impératifs :

Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif

Il faut une quantité assez faible pour que l'essai ne dure pas trop longtemps et pour ne pas saturer les tamis.

Pour cela, la masse utilisée sera telle que :  $M = 0,2 D$  avec  $M$  = masse de l'échantillon en kg et  $D$  = diamètre du plus gros granulats en mm.

### Dimensions des tamis à utiliser

Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38.

Pour les matériaux plus grossiers, tous les tamis au delà du module 38 seront utilisés.

### Description de l'essai

Prélever 3 Kg de gravier et 1 Kg de sable

Les matériaux seront séchés à l'étuve à une température maximale de 105°C.

Les tamis sont emboîtés sur un fond étanche, dans un ordre croissant du bas vers le haut de la colonne.

Le matériau est versé en haut de la colonne.

Un couvercle ferme l'ensemble et permet d'éviter toute perte durant le tamisage.

La colonne est fixée sur une tamiseuse électrique. (On peut aussi effectuer la vibration manuellement).

Le temps de tamisage varie suivant le matériel utilisé et dépend également du matériau, on considère donc que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations d'environ 1 minute.

On appelle **REFUS** le poids de matériau retenu par un tamis.

On appelle **TAMISAT** le poids de matériau passant par ce même tamis.

Le refus du tamis le plus grand est pesé, on l'appelle R1.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent, on l'appelle R2.

L'opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes, y compris le tamisat contenu dans le fond étanche. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés à tous les niveaux de la colonne.

La **SOMME DES REFUS CUMULES** doit être égal au **POIDS DE L'ECHANTILLON** introduit en tête de colonne. Les pertes acceptables durant l'essai ne doivent pas dépasser 2% du poids total de l'échantillon.

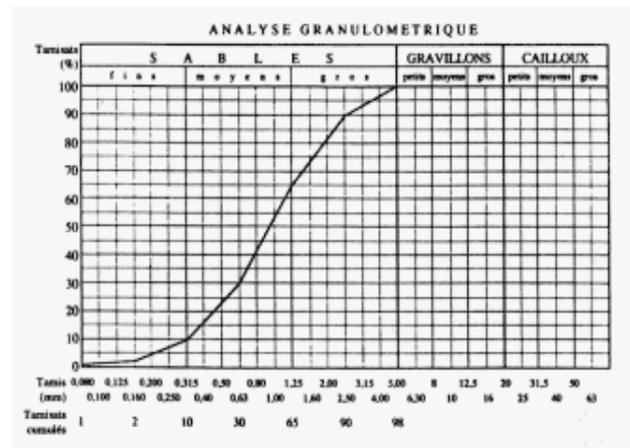
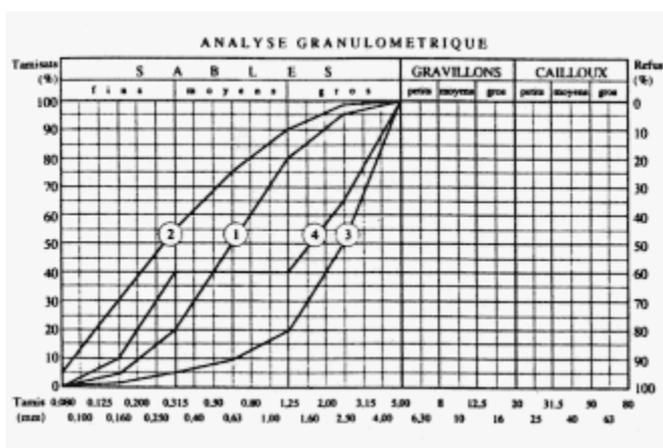
Un tableau présenté de cette façon est rempli au fur et à mesure des pesées.

**Expression des résultats : Courbe Granulométrique.**

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisats cumulés sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points.

**Remarque:**

- Les courbes granulométriques peuvent être continues, et dans ce cas, tous les tamis enregistrent un refus, ou bien elles peuvent être considérées discontinues lorsque plus de trois tamis consécutifs ne gardent pas de refus.
- La forme des courbes peut conduire à des interprétations rapides. La figure qui suit, présente différentes possibilités pour un sable :
- courbe 1 : courbe granulométrique courante.
- courbe 2 : granulat riche en éléments fins
- courbe 3 : granulat pauvre en éléments fins
- courbe 4 : courbe granulométrique discontinue (il manque les éléments de compris entre 0,4 et 1 mm).



Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul de son

### Module de finesse MF.

Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5.

On utilise ce paramètre pour caractériser la finesse des sables à bétons.

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.50 - 5 \}$$

Tableau de classification du sable selon le module de finesse

Type de sable	Module de finesse MF
Sable un peu trop fin	MF varie entre 1.8 et 2.2
Sable préférentiel	MF varie entre 2.2 et 2.8
Sable un peu trop grossier	MF varie entre 2.8 et 3.2

### Correction du module de finesse

On pourra utiliser la règle d'Abrams :

Un sable grossier S1 de module de finesse MF1.

Un sable fin S2 de module de finesse MF2.

Le sable de mélange S de module de finesse FM.

La proportion du sable S1 :  $\frac{MF - MF2}{MF1 - MF2}$

La proportion du sable S2 :  $\frac{MF1 - MF}{MF1 - MF2}$

### Calcul de la teneur en fine d'un sable

A partir de l'échantillon global, on prélève la quantité nécessaire à l'essai.

- Déterminer la teneur en eau du sable, soit : (**w**), (2 essais au minimum).
- Peser précisément l'échantillon humide (**m<sub>0</sub>**), puis le tamiser par lavage sur une petite colonne du tamis comprenant le **1, le 0.5 et le 0.063** jusqu'à ce que l'eau coulant du tamis soit claire.
- Sécher les refus lavés à la poêle à frire pour aller plus vite.
- Peser les refus lavés sec soit : (**m<sub>1</sub>**).
- **Soit la teneur en fines :**

$$f = 1 - \frac{m_1}{m_0} \times (1 + w)$$

## TP N°2 COMPOSITION DES BETONS MÉTHODE DE DREUX GORISSE

### 1) LES DONNEES DU PROBLEME :

Elles sont au nombre de quatre:

- **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 :  $A = 10 \text{ cm}$
- **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 les quatre données qui sont à préciser lorsqu'on passe commande d'un béton à une centrale de béton prêt à l'emploi.

#### 1.1) Dosage et qualité du ciment :

Le dosage en ciment est ordinairement indiqué en  $\text{kg/m}^3$  de béton frais en œuvre.

Pour la qualité du ciment, on a supposé que l'on utilise un ciment des types CPA-CEM I ou CPJ-CEM II/A ou CPJ-CEM II/B dans la classe 32,5, classe garantie.

Classes	Résistance à la compression (Mpa)						
	Au jeune âge		Age normal		Limites inférieures garanties		
	2 j	7 j	28 j		2 j	7 j	28 j
	Li	Li	Li	Ls			
<b>32,5</b>	-	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	-	17,5	30
<b>32,5 R</b>	$\geq 13,5$	-	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	12	-	30
<b>42,5</b>	$\geq 12,5$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	10	-	40
<b>42,5 R</b>	$\geq 20$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	18	-	40
<b>52,5</b>	$\geq 20$	-	$\geq 52,5$	-	18	-	50
<b>52,5 R</b>	$\geq 30$	-	$\geq 52,5$	-	28	-	50

Li = Limite inférieure      Ls = Limite supérieure

#### 1.2) Choix et dosage des granulats :

**1.2.1) Dimension :**

Il faut déterminer la dimension maximale des granulats en fonction de :

- L'espacement des armatures entre lesquelles le béton doit passer
- L'épaisseur d'enrobage des armatures
- Forme du coffrage

**1.2.2) Choix de la classe granulaire :**

La plupart du temps, un béton est composé à partir de 2 classes :

- Un sable 0/5
- Un gravillon 5/12,5 - 5/15 ou 5/25

**1.2.3) Dosage des granulats :**

La proportion de gravillon et de sable est exprimée par le rapport  $G/S$ , et doit être inférieur à 2.

La granulométrie du sable peut par exemple être caractérisée par son module de finesse, généralement  $2,2 \leq \mathbf{Mf} \leq 2,8$ .

**1.3) Dosage en eau :**

Le dosage en eau est un des problèmes les plus délicats dans la fabrication du béton. Il est en effet possible de prévoir assez approximativement le dosage total en eau à ajouter sur matériaux secs, mais dans la pratique, les matériaux sont humides et apportent avec eux une quantité d'eau variable dont il est difficile de tenir compte exactement.

C'est pourquoi, dans les abaques ci-après, le dosage en eau comporte un abaque spécial à utiliser selon le degré d'humidité des matériaux.

Sur les petits chantiers, le cône d'Abrams est le seul moyen de doser correctement l'eau en essayant de se tenir entre deux valeurs (maximale et minimale) de l'affaissement en fonction de la plasticité désirée.

En conclusion, les dosages en eau indiqués sur les abaques ne sont que des indications approximatives à vérifier ou à modifier préalablement par quelques essais au cône.

Degré d'humidité des granulats	Secs	Humide	Mouillé	Trempé
--------------------------------	------	--------	---------	--------

Pourcentage d'eau	Dans le sable	0 à 3 %	4 à 7 %	8 à 11 %	12 à 15 %
	Dans le gravier	1 %	3 %	5 %	6 %
<b>Sec</b>	Cas rare : les granulats présentent un aspect mat et laissent la main un peu poussiéreuse.				
<b>Humide</b>	Cas le plus courant : l'aspect des granulats est brillant et ils laissent la main mouillée ; les grains du sable y adhèrent légèrement et on peut en faire une boulette en les comprimant.				
<b>Mouillé</b>	Cas ne se présentant guère que pour des granulats subissant ou venant de subir une pluie importante.				
<b>Trempé</b>	Cas rare : cela suppose des granulats complètement saturés d'eau et à peine égouttés.				

## 2) APPLICATION DE LA METHODE :

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 :  $D = 40 \text{ mm}$

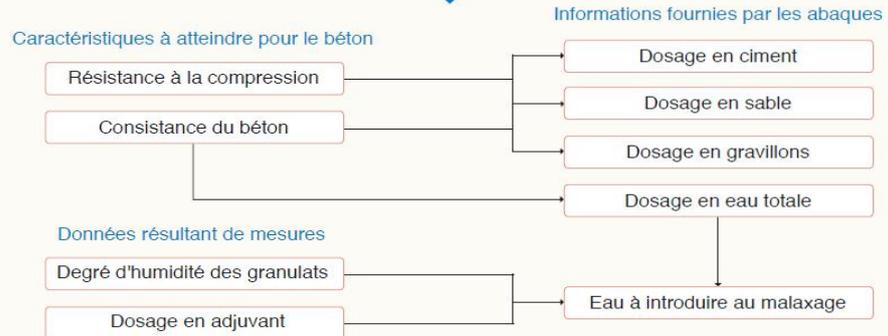
1. Sur l'abaque correspondant à la valeur  $D$  adoptée (16,25 ou 40 mm), on part verticalement de la plasticité désirée jusqu'à rencontrer au point R la droite de résistance souhaitée.
2. A partir de R, on part horizontalement et vers la droite jusqu'à trouver au point C le dosage en ciment (en  $\text{kg/m}^3$ ) sur l'échelle verticale.
3. En poursuivant cette horizontale on détermine les points G, et G2 (et G3 sur l'abaque n°3) à l'intersection avec les droites de granulats (sable, gravier...).
4. En descendant verticalement à partir de G, et G2 (et G3 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  $400 \text{ kg/m}^3$  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

GRANULOMÉTRIES ADOPTÉES POUR LES GRANULATS

CHOIX DE L'ABAQUE APPROPRIÉ



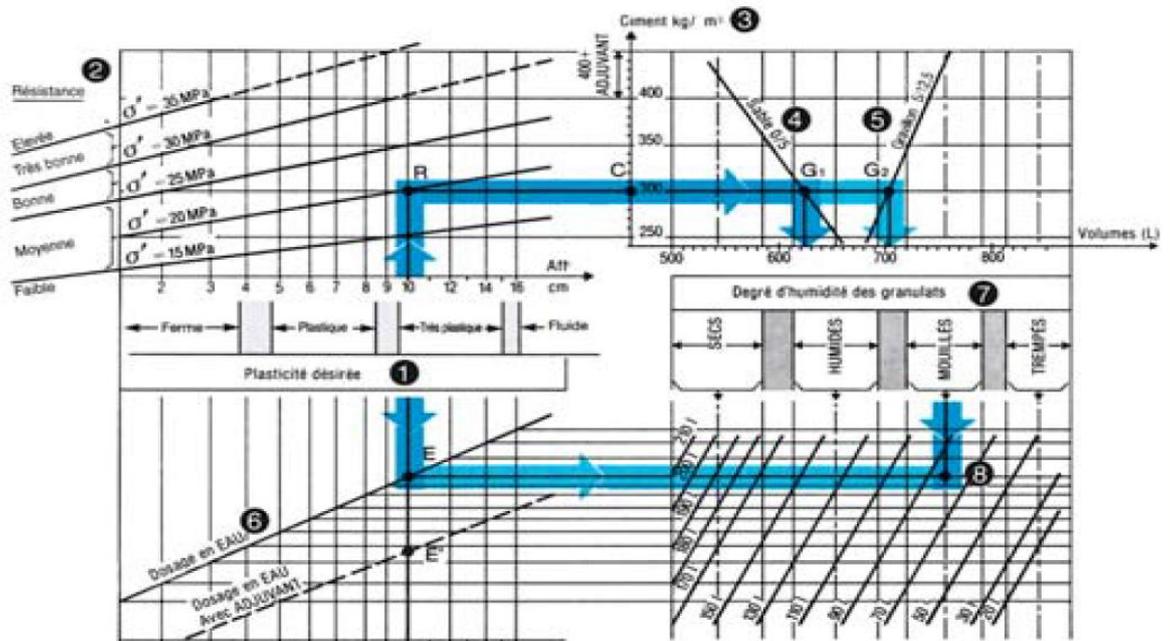
**CAS D'UN BÉTON FIN = 12,5 mm.**

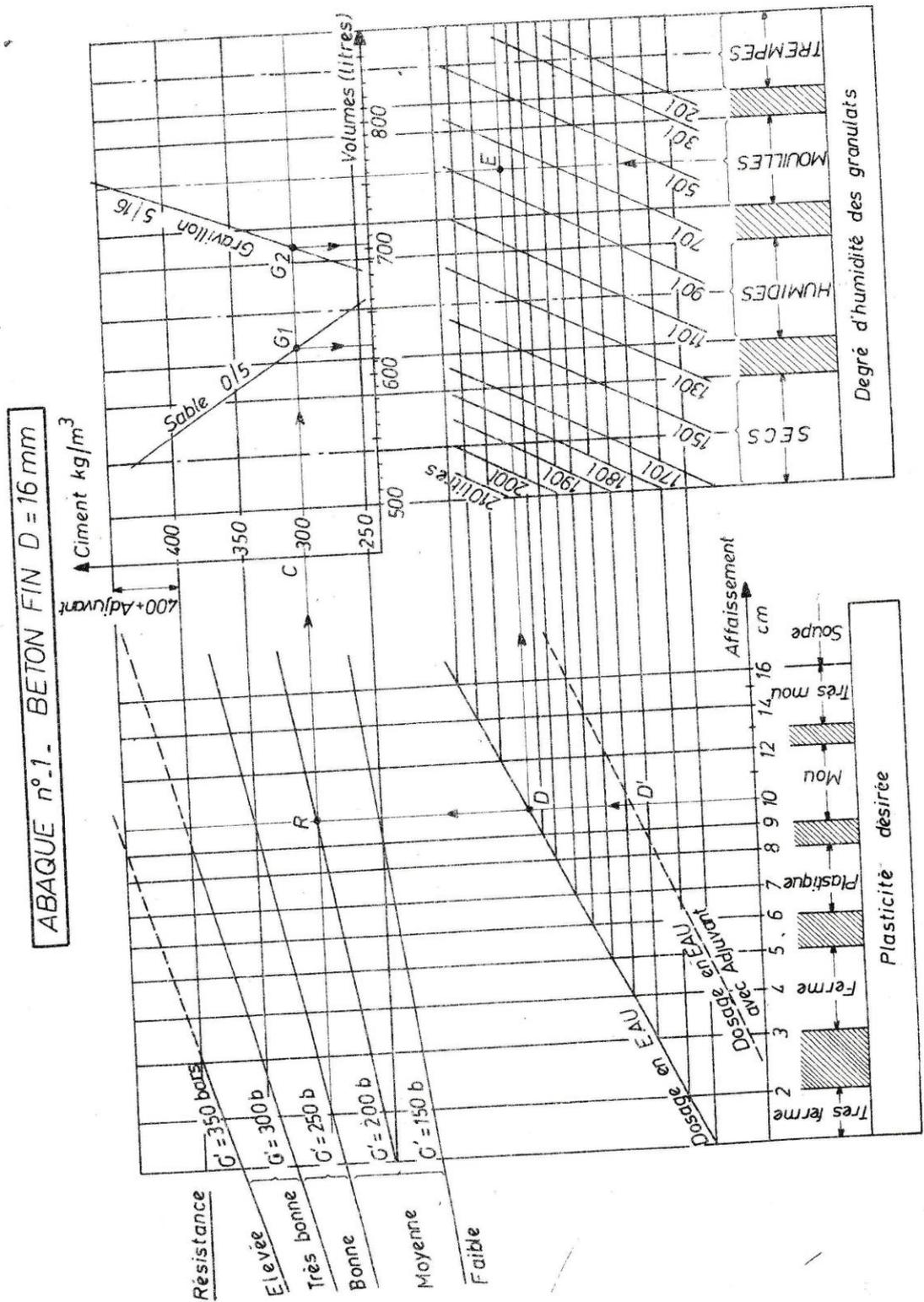
Abaque n° 1.

On désire :

1. un béton très plastique (affaissement 10 cm)
2. une résistance moyenne : 20 MPa (environ)
3. ciment (classe 32,5) ..... 300 kg/m<sup>2</sup>
4. sable 0/4 mm à l'état sec ..... 625 litres

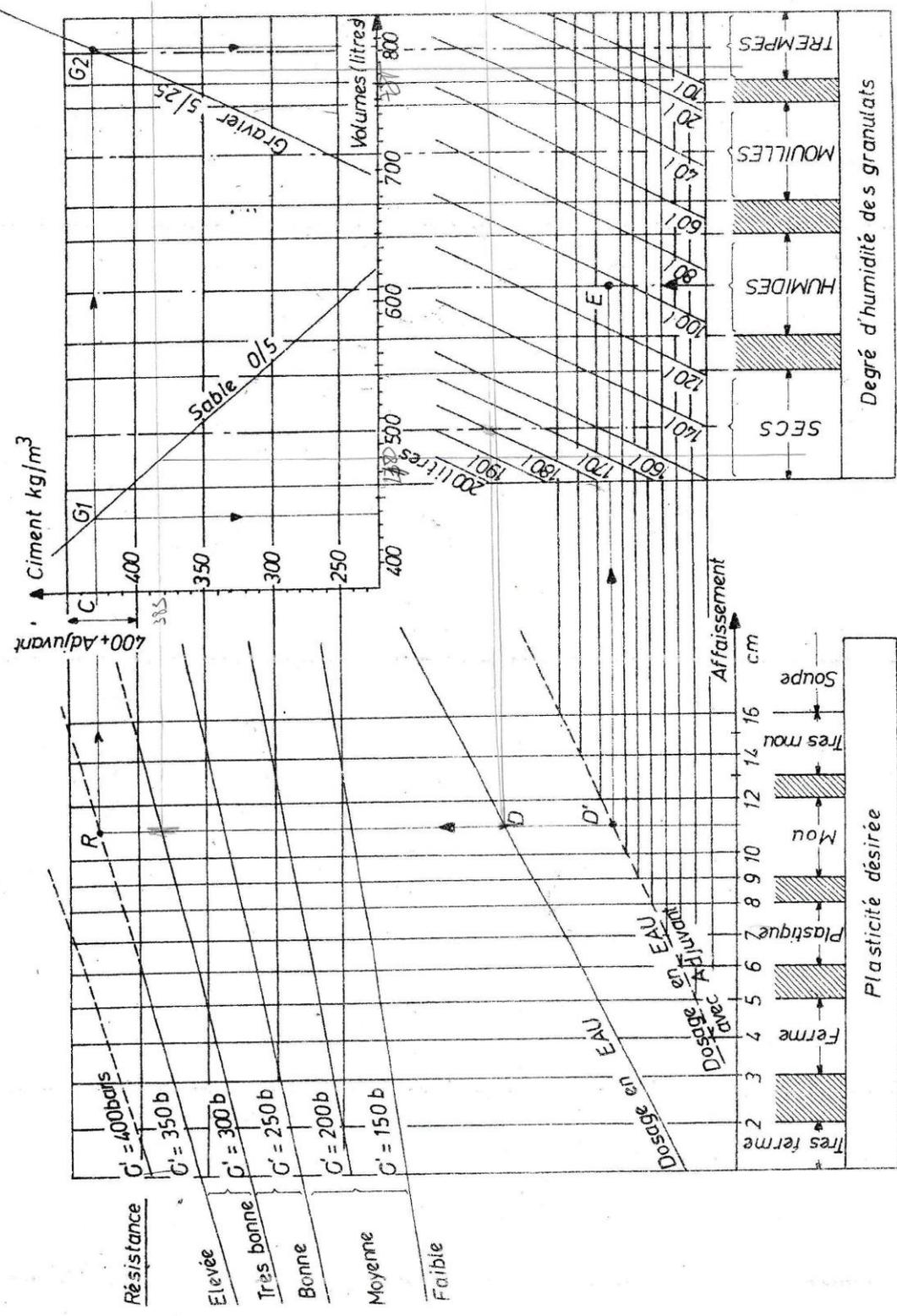
5. gravillons 5,6/12,5 mm ..... 705 litres
6. dosage en eau – point E
7. on suppose que les granulats sont « mouillés »
8. la lecture sur la grille donne 80 litres d'eau environ à ajouter.

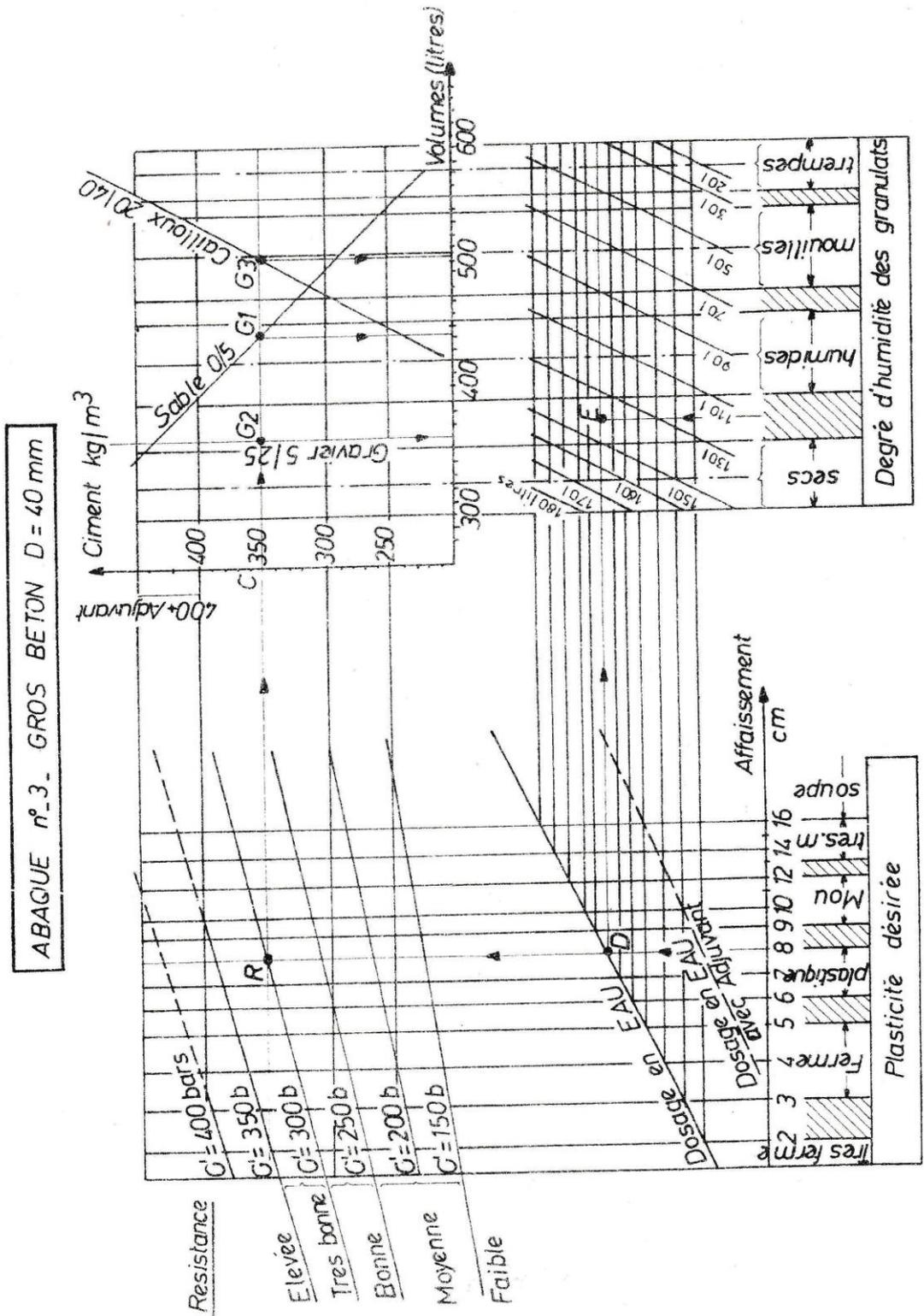




36

**ABaque n°-2 - BETON NORMAL D = 25 mm**





38

3) APPLICATIONS :

**Application 1 :** Cas d'un béton fin  $D = 16$  mm.

On désire :

- un béton mou (affaissement 10 cm)
- une résistance moyenne : 20 MPa (environ)

On suppose que les granulats sont “ mouillés ”.

D'après l'abaque n°1 on trouve :

- Eau : 80 l
- Ciment : 300 kg/m<sup>3</sup>
- Sable 0/5 mm : 625 l
- Gravillons 5/16 mm : 705 l

**Application 2 :** Cas d'un béton normal  $D = 25$  mm.

On désire :

- un béton mou (affaissement 12 cm)
- une résistance élevée : 35 MPa (environ)

On suppose que les granulats sont simplement “ humides ”.

D'après l'abaque n°2 on trouve :

- Eau : 105 l
- Ciment : 400 kg/m<sup>3</sup> + adjuvant
- Sable 0/5 mm : 430 l
- Gravier 5/25 mm : 800 l

**Application 3 :** Cas d'un gros béton  $D = 40$  mm.

On désire :

- un béton bien plastique (affaissement 8 cm)
- une résistance très bonne : 30 MPa (environ)

On suppose que les granulats sont assez “ secs ” mais présentent tout de même une certaine humidité ; sur l'abaque n°3, on se place sur la zone comprise entre les zones “ secs ” et “ humides ”.

D'après l'abaque n°3 on trouve :

- Eau : 135 l
- Ciment : 375 kg/m<sup>3</sup>
- Sable 0/5 mm : 445 l
- Gravier 5/25 mm : 355 l
- Cailloux 20/40 mm : 500 l

**4) RECOMMANDATIONS SUR LES ABAQUES :**

- Si l'on désire augmenter la plasticité, le dosage en eau s'en trouve augmenté (pour un même degré d'humidité des granulats).
- Si le dosage en eau est augmenté (pour augmenter la plasticité), il faudra, si l'on veut conserver la même résistance, augmenter le dosage en ciment. Si l'on maintient le même dosage en ciment, la résistance sera plus faible.

- Si le dosage en ciment augmente, on a tendance, ce qui est normal, à mettre moins de sable et plus de gravier (et vice versa).  
Dans le cas d'un gros béton on mettra également, dans le même cas, moins de sable et plus de cailloux, mais le dosage en gravier 5/25 reste constant.
- Si l'humidité des granulats augmente, la quantité d'eau à ajouter diminue.
- Si l'on passe d'un abaque à l'autre, on constate que, pour une plasticité équivalente et pour la même résistance, on mettra un peu moins de ciment et un peu moins d'eau si les granulats sont plus gros.

## **CONFECTION D'UN BÉTON**

Pour 2 éprouvettes cylindriques  $\varnothing 16 \times 32$  cm et une prismatique (10x10x40)

### **Objectif :**

Il s'agit de confectionner un béton avec les caractéristiques suivantes ;

- B25
- $A = 10$  cm
- Résistance à la compression 25MPa.
- Les granulats sont secs.

#### Données concernant les granulats :

- $D = 25$  mm
- $\rho_{\text{sable}} = 1,6 \text{ T/m}^3$
- $\rho_{\text{gravier}} = 1,7 \text{ T/m}^3$
- $\rho_{\text{ciment}} = 1 \text{ T/m}^3$

#### Dimension d'une éprouvette :

##### **Éprouvette cylindrique**

- $\varnothing 16$  cm
- $h = 32$  cm

##### **Éprouvette prismatique**

$a=10, b=10, L=40$

### **Matériel nécessaire :**

- Une balance
- Des récipients pour y mettre les pesées
- Le matériel pour faire le mélange des granulats et du ciment
- Le(s) moule(s) pour éprouvette
- Une tige de piquage

**Calculs préalables :**

- a) Déterminer sur l'abaque correspondant les quantités de chaque composant du béton (sable, gravier, ciment, eau...)
- b) Calculer le volume de béton à confectionner
- c) Calculer le poids de chaque composant du mélange

**Préparation du mélange**

- a) Effectuer les pesées
- b) Effectuer le mélange granulats + ciment + eau
- c) Mesurer l'affaissement du béton au cône d'Abrams (TP N°3).

**Confection des éprouvettes :**

- a) Huiler le(s) moule(s)
- b) Remplir le(s) moule(s) en 3 couches. Piquer chaque couche 20 fois avec la tige de piquage, en faisant pénétrer la tige dans la couche sous-jacente s'il y a lieu. Ou bien l'utilisation d'une aiguille vibrante ou la table vibrante.
- c) A la dernière couche et au cours du compactage, ajouter le béton nécessaire pour que le moule soit rempli à ras bords et procéder à l'arasement des éprouvettes.

## TP N°3 : CONFECTION ET ESSAIS SUR MORTIER

### Définition :

Le mortier est un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général, le mortier se compose de ciment ou de chaux, de sable, d'eau et d'adjuvant.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier.

Les mortiers peuvent être:

- 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 pré-dosés 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.

### La composition du mortier

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:

- liant (ciment ou chaux)
- eau
- sable
- adjuvants

### Les liants:

Généralement, on peut utiliser:

- les ciments normalisés (gris ou blanc);
- les chaux hydrauliques naturelles;
- les chaux éteintes

### 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.

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, sable de briques concassés....).

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:

- 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.

### **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:

- 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.

### **Les ajouts:**

Les ajouts que l'on utilise dans les mortiers sont:

- Poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..);
- Fibres de différentes natures;

- Colorants (naturels ou synthétiques);
- Polymères.

### Les différents mortiers

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

#### ➤ Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciments 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.

#### ➤ Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux 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.

#### ➤ Les mortiers bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

### Mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu.

On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie.

### Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre.

Les mortiers peuvent contenir des liants et des sables variés ainsi que certains adjuvants et éventuellement des colorants.

### Caractéristiques principales du mortier

Les caractéristiques principales des mortiers sont:

- L'ouvrabilité;
- La prise;
- Les résistances mécaniques;
- Les retraits et gonflements.

### CONFECTION DU MORTIER

#### Principe de la méthode

L'essai consiste à préparer un mortier normal en utilisant un sable normalisé. Ce sable est commercialisé en sac plastique de  $1350g \pm 5$  g

#### Matériel utilisé

- Un malaxeur a deux vitesses.
- Une balance.
- Des bacs.
- Des moules d'éprouvette (4x4x16).
- Une table a choc.

Le sable et le ciment à tester sont gâchés avec de l'eau dans les proportions suivantes :

450g $\pm$ 2 g de ciment

1350g $\pm$ 5 g de sable normalisé

225g $\pm$ 1 d'eau

Le rapport E/C d'un tel mortier est donc 0.5

#### Mode d'opérateur

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur
- Verser ensuite le ciment
- Mettre le malaxeur marche à vitesse lente
- Après 30 secondes de malaxage introduire régulièrement le sable pendant 30 s suivantes. Mettre le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30 s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1min30s. pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes.

Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Opération	Introduction l'eau	Introduction Du ciment		Introduction sable		Raclage de la cuve		
durée			30s	30s	30s	15s	1min15s	60s
Etat de malaxeur	Arrêt		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

## LES ESSAIS SUR MORTIER FRAIS

### 1. Ouvrabilité

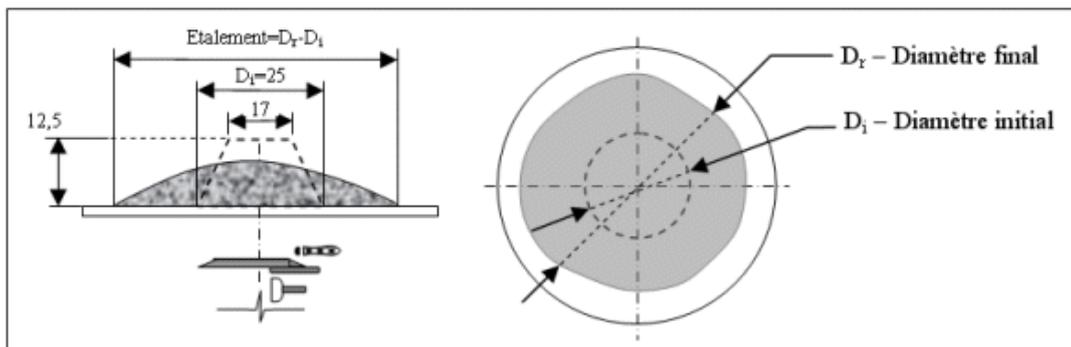
L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

#### a) La table à secousses:

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 %

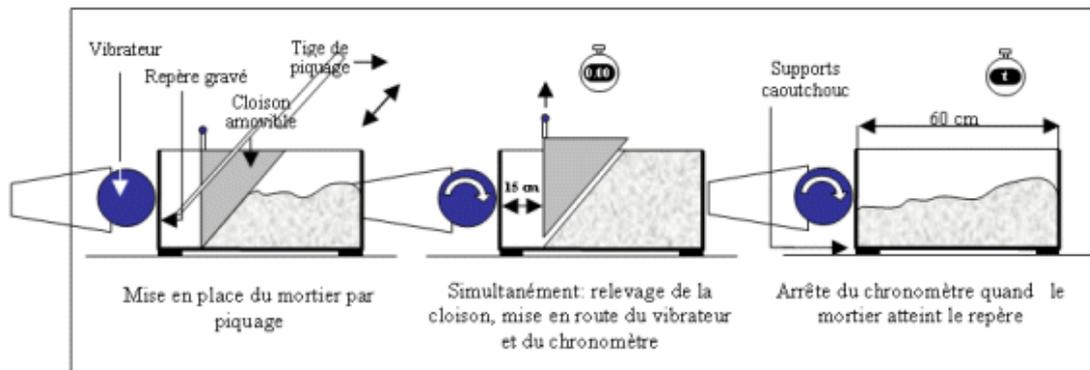
est donné par la formule:  $\frac{D_r - D_i}{D_r} \times 100$

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



#### b) Le maniabilimètre B du LCPC:

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.



### Principe de l'essai

Dans ces essais, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

### Equipement nécessaire

L'appareil utilisé est appelé maniabilimètre B" et est schématisé sur la figure ci-dessous. Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique ( 60 cm x 30 cm x 30cm ), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier.

### Conduite de l'essai

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place par piquage en 4 couches. 4 minutes après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps  $t$  mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil).

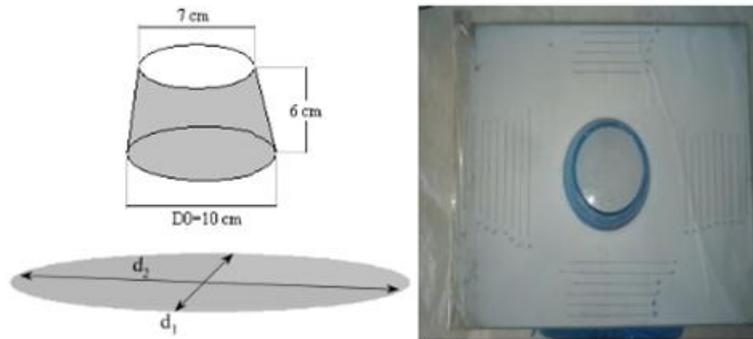
#### c) Essai de l'étalement au Mini Cône de mortier

C'est un essai directement inspiré de l'essai d'affaissement au cône qui sert à tester la consistance des bétons.

Le principe d'essai et la procédure étant les mêmes sauf que les dimensions du cône de mortier sont deux fois plus faibles.

Comme pour l'essai sur béton on mesure l'affaissement du cône de mortier.

Les mortiers seront considérés d'autant plus fluides que leur affaissement sera plus important.



Les étapes de l'essai sont présentées sur cette figure



Pour déterminer l'étalement relatif  $R_p$  on utilise la méthode D'okamura :

$$R_p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1$$

Avec :

$R_p$  : L'étalement relatif.

$d$  : le diamètre d'étalement moyen de la galette.

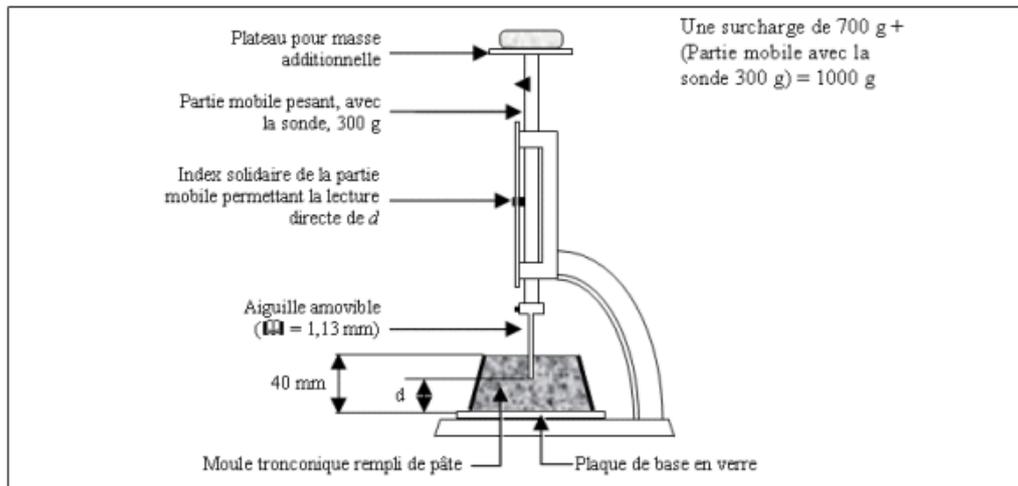
## 2. Mesure du temps de prise sur mortier (NF P 15-431 et NF 18-356).

Les essais de prise peuvent être effectués sur mortier. Lorsque L'essai a lieu sur mortier normal, il est gouverné par la norme NF P15-431. Lorsqu'il s'agit d'un adjuvant, l'essai obéit à la norme NF P18-356.

L'appareil utilisé est toujours l'appareil de Vicat, mais surchargé par une masse additionnelle de 700 g.  $(300+700) = 1000\text{g}$ .

L'aiguille de 1,13mm de diamètre qui pénètre le mortier est alors soumise à une charge de 1000g.

La procédure d'essai est la même que celle décrite où l'aiguille cesse de s'enfoncer sous l'effet de ce chargement et s'arrête à une distance  $d$  du fond du moule de 2,5mm.



## LES ESSAIS SUR MORTIER DURCI

### 1. Mesure des résistances à la compression et à la traction (EN 1966 - 1)

#### Objectif de l'essai

La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier.

#### Principe de l'essai

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature de liant hydraulique; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

#### Equipement nécessaire

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1. Il est énuméré ci-dessous.

Une salle maintenue à une température de  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %.

Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  et à une humidité relative supérieure à 90 %.

Un malaxeur normalisé.

Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelées éprouvettes 4×4×16).

Un appareil à chocs permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de  $15\text{mm} \pm 0,3\text{mm}$  à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s.

Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de  $50 \text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$ . La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion.

Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus si les essais l'exigent) avec une vitesse de mise en charge de  $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$ . Cette machine est équipée d'un dispositif de compression.

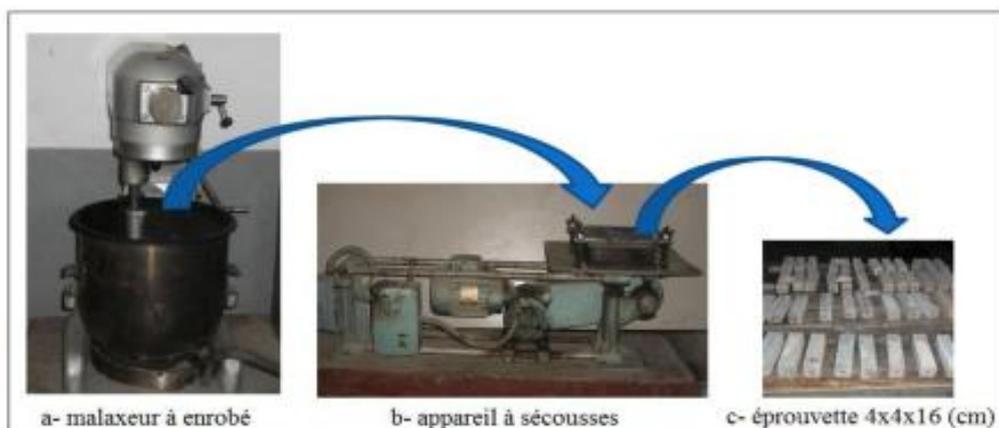
### Conduite de l'essai

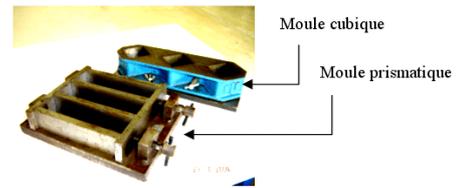
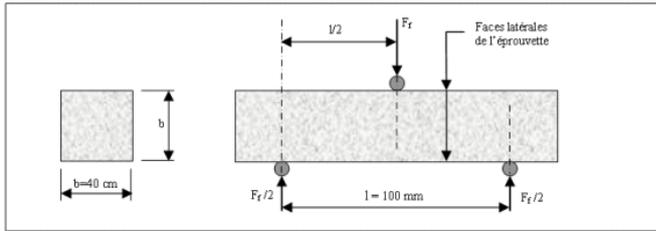
La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Avec le mortier normal préparé comme indiqué (à la partie supérieure), on remplit un moule 4 x 4 x 16. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide.

Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à  $20 \text{ C}^\circ \pm 1 \text{ C}^\circ$  jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 7 jours et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment.





Si  $F_f$  est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut  $F_f x \frac{l}{4}$

Et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est

$$R_f = \frac{1.5x F_f x l}{b^3}$$

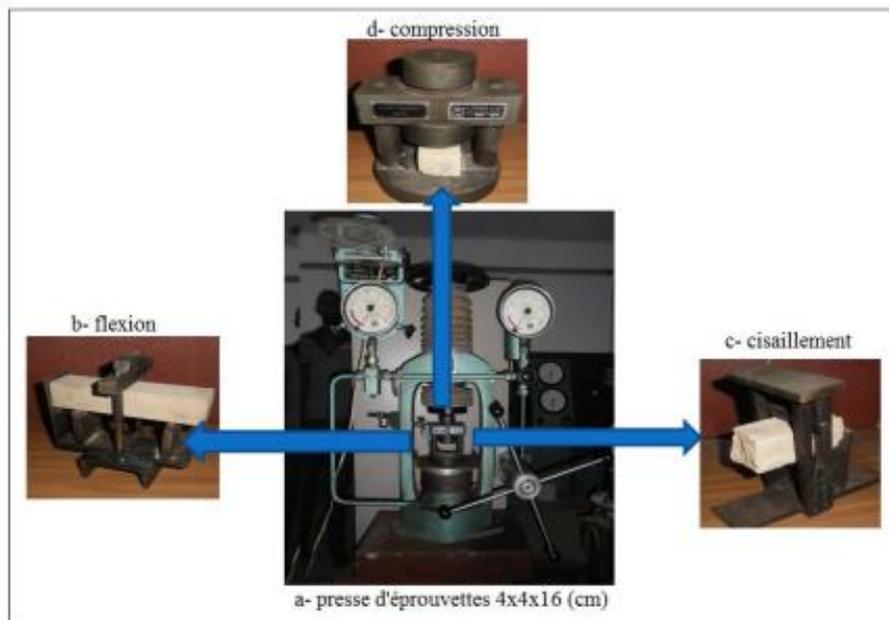
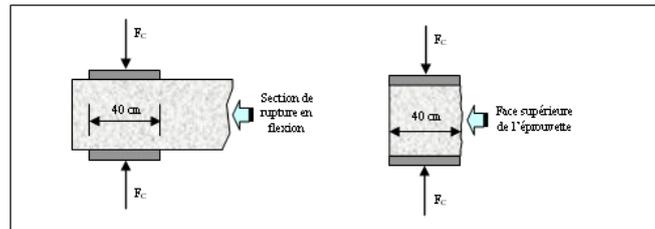
Cette contrainte appelé la résistance à la flexion.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure.

Si  $F_c$  est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Cette contrainte appelé la résistance à la compression.



## 2. Retraits et gonflements

Il s'agit d'évaluer le retrait ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal. On compare, à différents temps  $t$ , la variation de longueur d'une éprouvette 4x4x16 cm, par rapport à sa longueur à un temps  $t_0$  pris pour origine.

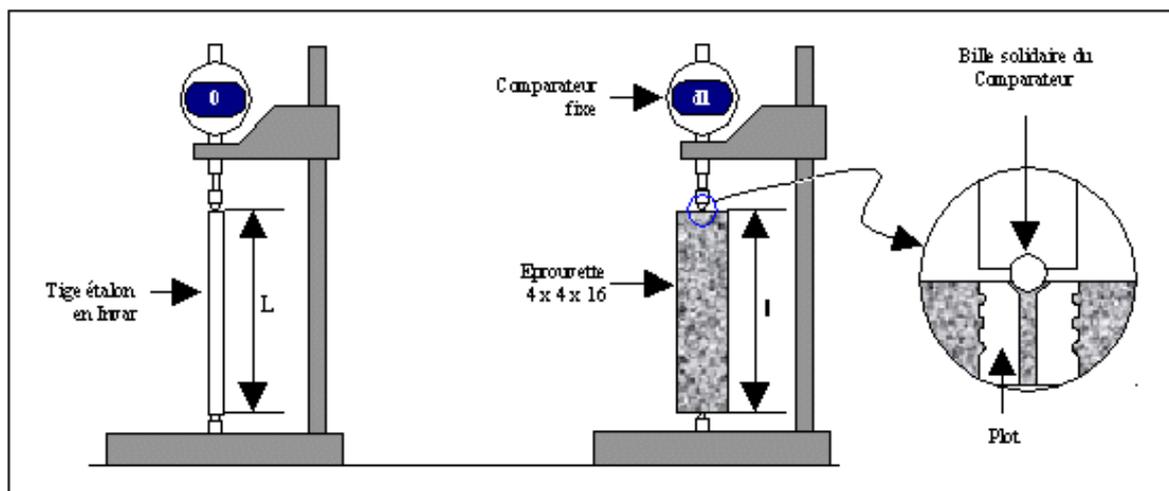
Une salle maintenue à une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative supérieure ou égale à  $50\% \pm 5\%$ . Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  et  $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes (4x4x16) sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la figure.

Un déformètre (tel que celui schématisé sur la figure) équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à 0.005 mm.

Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre .

Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.



### Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur  $L = 160$  mm. Soit  $dl(t)$  la valeur lue sur le comparateur au temps  $t$ ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t)$$

Soit  $l(t_0)$  la longueur de l'éprouvette au temps  $t_0$  choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps  $t$  sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par  $\varepsilon$  et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L}$$

$\Delta l(t)$  est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air,  $\Delta l(t)$  est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau,  $\Delta l(t)$  peut être positif: il y a alors gonflement.

## **TP N°4 : ESSAI D'OUVRABILITÉ AU CÔNE D'ABRAMS**

### ***SLUMP TEST (NF P 18-451)***

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm.

#### **Principe de l'essai :**

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

#### **Equipement nécessaire :**

L'appareillage est schématisé sur la figure 1, et 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

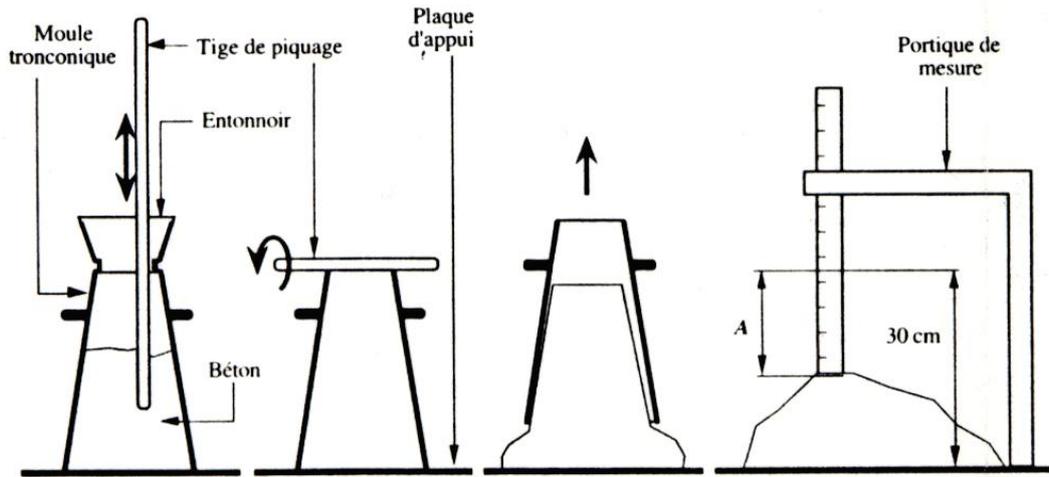
Un portique de mesure

#### **Conduite de l'essai :**

La plaque d'appui est légèrement humidifiée et le moule légèrement huilé y est fixé. Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche (la tige doit pénétrer la couche immédiatement inférieure).

Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. Celle-ci est caractérisée par cet affaissement, noté *A*, mesuré grâce au portique et arrondi au centimètre le plus proche.

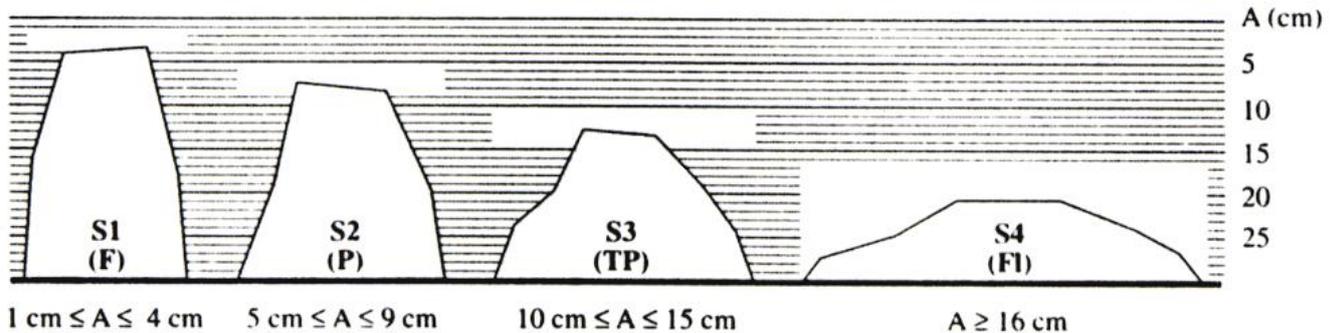
La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage.



1. Mise en place par piquage
2. Arasement
3. Soulèvement du moule tronconique
4. Mesure de l'affaissement A

**Classes d'affaissement :**

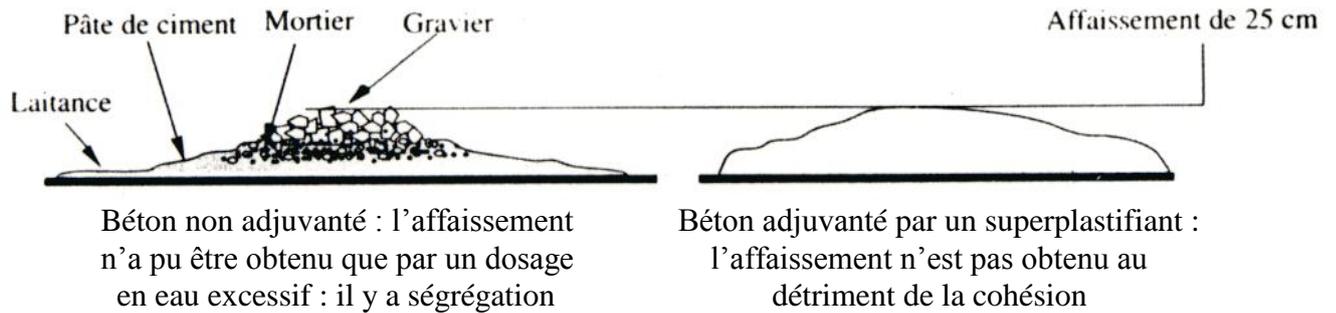
La norme ENV 206 définit 4 classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré. Elles sont indiquées sur la figure 2. Sur cette figure, les rectangles blancs représentent la variation possible d'affaissement correspondant à la classe considérée. Les classes sont notées S1, S2, S3, S4 et appelées classes d'affaissement. S rappelle ici l'initiale du nom de l'essai en anglais : *slump test*.



La norme NF P 18-305 définit les mêmes classes d'affaissement, mais les note F, P, TP et FL (Ferme, Plastique, Très Plastique et Fluide).

**Limites de l'essai d'affaissement:**

Grâce aux super plastifiants, on peut réaliser aujourd'hui des bétons très fluides dont l'affaissement au cône dépasse les 25 cm. Le cône ne permet pas de caractériser de manière satisfaisante de telles consistances.



D'une manière générale, il paraît difficile d'obtenir un affaissement supérieur à 15 cm avec des bétons non adjuvantés sans rencontrer des problèmes de ségrégation.

D'autre part, il n'est pas possible d'attribuer le même comportement à un béton non adjuvanté présentant un affaissement au cône de 10 cm et un béton très dosé en superplastifiant présentant un affaissement équivalent. Le premier béton sera facile à mettre en place, on dira qu'il est maniable, alors que le béton adjuvanté sera très visqueux et d'un maniement difficile. C'est pourquoi pour des bétons très fortement dosés en superplastifiant il paraît souhaitable de travailler avec des affaissements au moins égaux à 15 cm.

De tout cela il ressort que la consistance mesurée par l'essai d'affaissement au cône ne suffit pas pour caractériser la maniabilité d'un béton et qu'il faut toujours préciser la manière dont cet affaissement a été obtenu : notamment le dosage en superplastifiant.

## TPN°5 : ESSAI D'ÉCRASEMENT SUR BÉTON.

### 1. Mesure de la résistance à la compression

#### But de l'essai :

Déterminer la résistance à la compression d'un béton à partir d'un échantillon sous forme d'éprouvettes, cela consiste donc à la vérification du  $f_{c28}$ .

Cette résistance dépend de :

- la pâte de ciment
- des granulats
- la liaison entre la pâte et les granulats



#### Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur des éprouvettes cylindriques de dimensions : 16 cm de diamètre et 32 cm de hauteur, au nombre de 3 et d'une section de 200 cm<sup>2</sup>. Ces éprouvettes sont surfacées afin d'assurer une bonne planéité et ainsi la perpendicularité, elles auront 28 jours d'existante.

La compression est dite simple et est appliquée à l'axe des éprouvettes.

#### Surfaçage des éprouvettes :

Les surfaces des éprouvettes cylindriques ne sont jamais planes, et pour bien répartir les efforts, les éprouvettes doivent être rectifiées par surfaçage au soufre.

On utilise un mélange de 60% massique de fleur de soufre et de 40% de sable fin ( $D < 0.5$  mm) que l'on chauffe dans un récipient approprié (durant l'opération, il est important de ventiler ou d'absorber les vapeurs qui dégagent des odeurs désagréables).

Le dispositif de surfaçage est simple à utiliser, la démarche est la suivante:

- Faire chauffer le mélange de soufre et de sable.
- Huiler le fond de l'appareil.
- Verser une louche du mélange dans la coupelle.
- Descendre aussitôt l'éprouvette sur le mélange tout en l'appuyant sur les guides pour qu'elle soit verticale.
- La maintenir quelques instants jusqu'au durcissement du mélange.
- Recommencer l'opération pour la deuxième face.

**Matériel utilisé :**

Cet essai nécessite l'emploi d'une presse.

**Conduite de l'essai :**

Les éprouvettes étant surfacées, la démarche est la suivante :

- Mettre en place et bien centrer l'éprouvette sur le plateau de la presse.
- appliquer une charge de manière continue à une vitesse de 600kN / mn, ceci Jusqu'à la rupture.
- Retenir pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.
- Calculer, à 0.5 Mpa près, la résistance correspondante :  $f_c$  en Mpa.

$$f_{cf} = \frac{F}{S}$$

P = la charge maximale en daN

S = la section de l'éprouvette en  $\text{cm}^2$

**Rappels :**

- 600 kN = 60.000 daN
- 1 MPa = 10 daN /  $\text{cm}^2$  = 0.1 kN /  $\text{cm}^2$

## 2. Mesure de la résistance à la Traction par flexion

### But de l'essai :

Déterminer la résistance à la traction d'un béton à partir d'un échantillon sous forme d'éprouvettes prismatiques, cela consiste donc à la vérification du **ft28**.

Cette résistance dépend de : - la pâte de ciment

- des granulats

- la liaison entre la pâte et les granulats

### Principe de l'essai :

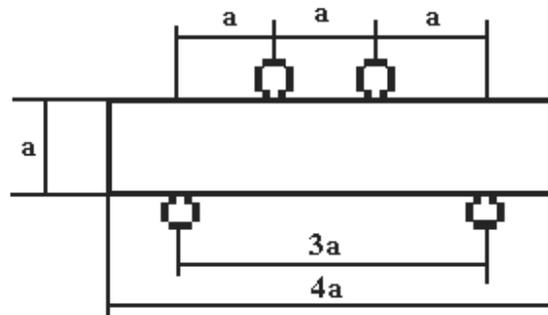
L'essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions :  $10 * 10$  cm de côté et de 40 cm de longueur. Elles ont une section de  $100\text{cm}^2$ .

On effectuera l'essai sur 3 éprouvettes de même provenance pour la justesse des résultats, et elles auront 28 jours d'existence.

Il convient de retenir de la norme que :

Les éprouvettes sont des prismes de section carré et d'élançement 4 (longueur = 4 fois la longueur du côté)

L'appareil de chargement doit être réalisé conformément au croquis suivant :



Enfin, la mise en charge s'effectuera à la vitesse de  $0,05$  MPa par seconde avec une tolérance de plus ou moins  $0,01$  Mpa.

### Matériel utilisé :

Cet essai nécessite l'emploi d'une presse spécifique.

### Conduite de l'essai :

La démarche est la suivante :

- Traçage de repères sur les éprouvettes afin de bien les positionner sur la presse
- Positionnement des éprouvettes sur la presse
- Mise en charge des éprouvettes à raison de 0,05 Mpa par seconde ceci jusque la rupture.
- Retenir pour charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai
- Calculer la résistance correspondante  $f_t$  en Mpa

$$f_t = \frac{1,8 F}{a^2}$$

F = charge de rupture en daN

a = côté de l'éprouvette en cm

### Rappels :

600 kN = 60.000 daN

1 MPa = 10 daN / cm<sup>2</sup> = 0.1 kN / cm<sup>2</sup>

La résistance à la traction du béton est de 15 fois inférieure à sa résistance à compression

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj}$  (avec  $f_{tj}$  = résistance à la traction à j. jours et  $f_{cj}$  = résistance à la compression à j. jours)

## TPN° 6 : ESSAIS NON DESTRUCTIFS

### Contrôle non destructif (NF P 18-417)

#### 1. Essai au sclerometrique

##### But de l'essai :

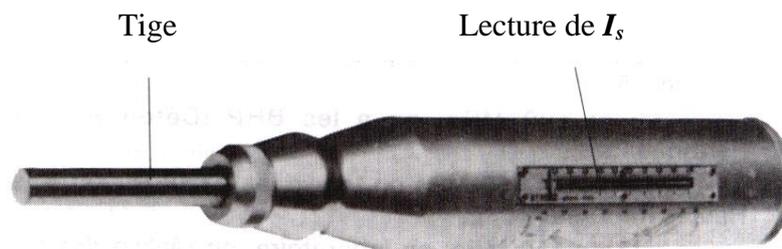
Cet essai permet de contrôler les performances mécaniques des bétons et notamment la résistance à la compression notée  $f_c$ .

##### Principe de l'essai :

Il s'agit de mesurer le rebondissement d'une masselotte projetée violemment par un ressort qui se comprime lors de l'application de l'appareil contre la surface du béton à mesurer.

La hauteur du rebond de cette masselotte est lue sur une échelle graduée : c'est l'indice sclérométrique noté  $I_s$ .

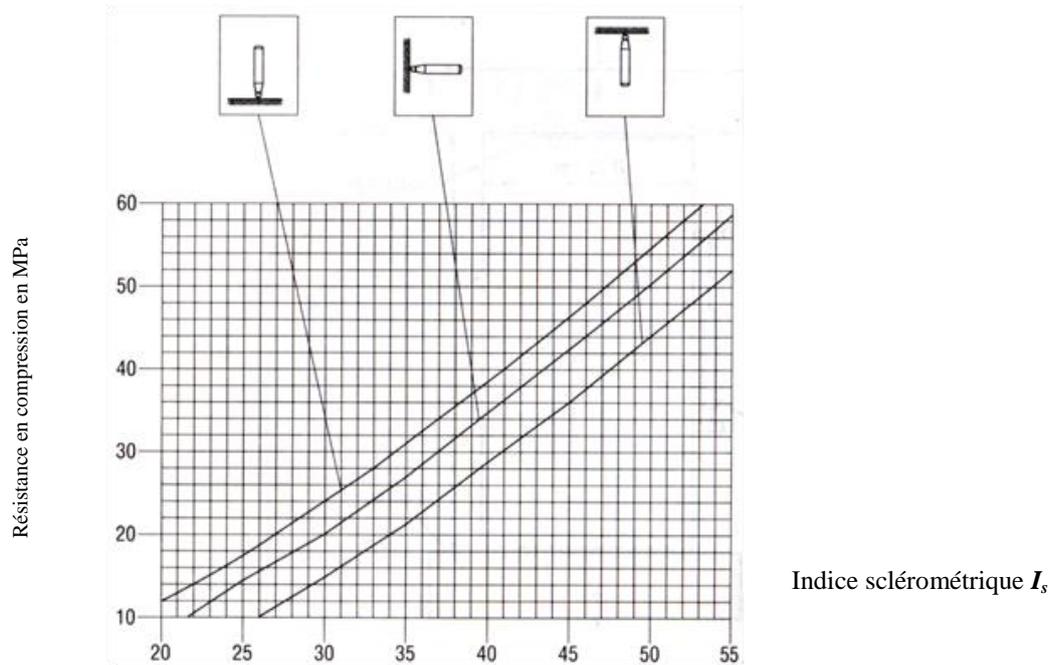
Plus la masselotte rebondit haut, plus le béton est résistant.



Scléromètre

##### Conduite de l'essai :

- Les surfaces de béton testées doivent être brutes ; l'enduit, la peinture ainsi que la couche de laitance et les particules étrangères doivent être éliminées par ponçage.
- Les zones présentant des nids de gravier, des écaillages, une porosité élevée, des armatures affleurantes doivent être évitées.
- Pour effectuer la mesure on presse l'appareil contre la surface à tester jusqu'au déclenchement de la percussion de la masselotte sur la tige.
- Lire directement la valeur indiquée par l'index. Effectuer 5 mesures et en faire la moyenne. La distance entre 2 points de mesure doit être d'au moins 30 mm.
- L'appareil est étalonné pour fonctionner en position horizontale. Dans le cas d'une utilisation sur des surfaces inclinées, une correction doit être effectuée selon l'abaque ci-dessous.



## 2. Essai d'auscultation sonore NFP 18- 418

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation d'ultrasons traversant le béton à l'aide d'un générateur et d'un récepteur. Les essais peuvent être effectués sur des éprouvettes en laboratoire ou sur ouvrages. De nombreux facteurs influent sur les résultats :

- la surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, et donc l'emploi d'une substance de contact est indispensable (graisse de paraffine),
- Le parcours doit être préférablement d'au moins 30 cm de façon à prévenir toute erreur occasionnée par l'hétérogénéité du béton.
- La vitesse de propagation est sensible à la maturité du béton (état d'avancement de l'hydratation, eau occluse, ...). Cependant, la vitesse des impulsions est peu sensible à la température.
- La présence d'armatures dans le béton perturbe la vitesse de propagation. Il est donc souhaitable et voire indispensable de choisir un parcours d'ondes le moins influencé possible par la présence des d'armatures.

### Applications et limites :

C'est une méthode simple et relativement peu coûteuse pour déterminer l'homogénéité d'un béton. Elle peut être utilisée aussi bien dans le cadre d'un suivi de production qu'en contrôle sur ouvrages. Lorsque de grands écarts de vitesse de propagation sont découverts sans causes apparentes dans l'ouvrage, il y a lieu de soupçonner que le béton est défectueux ou altéré. Une vitesse élevée de propagation indique généralement un béton de bonne qualité. Des études réalisées par la RILEM ont montré que la corrélation avec la résistance à la compression à pour forme

b

$$R_c = a \cdot e^{(b \cdot v)}$$

Avec (a, b) coefficients et (v) la vitesse de propagation.

Qualité	Vitesse de propagation m/s
Excellente	Supérieur a 4000
Bonne	3200-4000
Douteuse	2500-3200
Mauvaise	1700-2500
Très mauvaise	Inferieur à 1700

En première approximation, pour des granulats siliceux de qualité courante  $D_{max}=16$  mm, et pour un béton de résistance inférieure à 30 MPa, on peut considérer que :

$$R_c = 0.08177e^{(0.00147 \cdot v)}$$

V : Vitesse de propagation.

$R_c$  : Résistance à la compression.

De même, 2 corrélations ont été établies entre la vitesse de propagation et le module d'élasticité instantané (E) du béton

$$E_b = \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \rho V_m^2$$

$$\text{Et } E_b = 4 \cdot Hz^2 \cdot L^2 \cdot \rho$$

Hz : Fréquence de l'onde en Hertz.

Cette fréquence est en fonction des dimensions et de la forme de l'éprouvette.

Pour une éprouvette 16x32, on adopte Hz = 6000.

L : longueur de l'éprouvette.

E : module d'élasticité.

$\mu$  : Coefficient de Poisson du béton ( $\mu = 0.2$ ).

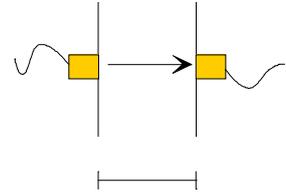
$\rho$  : Masse volumique du béton.

$V_m$  : vitesse moyenne de propagation.

**Mesures en transparence :**

Cette méthode permet :

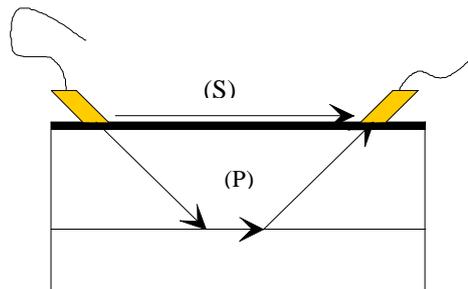
- de mettre en évidence des défauts d'homogénéité.
- d'estimer  $E_b$ .
- d'estimer la résistance à la compression.



**Mesures en surface :**

Cette méthode permet :

- de déterminer la présence de fissures de masse et éventuellement leur profondeur.
- de mettre en évidence une couche superficielle de moindre qualité (gel, feu, ...).
- de mettre en évidence une mauvaise reprise de bétonnage (sous certaines réserves).



(S) ondes de surfaces et (P) ondes profondes réfléchies

BIBLIOGRPHIE

1. **J.P. DELISLE, F. ALOU**, « Matériaux de construction », Lausanne, octobre 1978
2. **Georges Dreux, Jean Festa**, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », Georges DREUX, Jean FESTA, Edition eyrolles , 1998
3. **Raymond Dupain, Roger Lanchon, Jean-Claude Saint-Arroman, A Capliez**, **Granulats, sols, ciments et béton** : « Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire », Editions CASTEILLA, 2004.
4. **Phoummavong, Vimane.**, « Matériaux de construction », université national du Laos, Faculté d'ingénierie et d'architecture, 2006.
5. **Fiches techniques CIM-BÉTON**, « Les Bétons: Formulation, fabrication et mise en œuvre »,
6. **Michel Venuat**, La pratique des ciments, mortiers et béton, Edition Le Moniteur, 1989
7. **H. Renaud, F. Letertre**, Travaux de construction : « Technologie du bâtiment gros-œuvre », Les Éditions Foucher, 1995
8. **Notion de base sur le béton** Mémento CATED, Réf. M 97, octobre 93
9. **M. Laquerbe**, LE BETON (TOME-1), INSA de RENNES -1974
10. **A. Barakat**, « matériaux de carrière et de construction », université Sultan Moulay Slimane, Faculté des sciences et technique.
11. **Ashby et Jones**, Matériaux-Tome:2 «Microstructure et Mise en œuvre» chapitre 25.
12. **Camille Defossé**, « Chimie du ciment, valorisation des déchets en cimenterie », université libre de Bruxelles, Faculté des sciences appliquées, laboratoire de chimie industrielle.2004
13. **F. Gabrysiak**, « matériaux des bétons », chapitre 4.
14. **Venise RP, Maud de Valicourt, Sandrine Matos**, « Construire ou rénover, basse consommation, la tuile, terre cuite joue la séduction durable », INFO PRESSE, 2011.
15. **Safi Brahim**, « Procèdes et mise en forme des matériaux des produit céramique », Université de Boumerdès, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département Génie des Matériaux.
16. **Mekhermeche Abdessalam**, «contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermique des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours Sahariennes », thèse de magister à l'université Kasdi Merbah, Ouargla, Faculté des Sciences et de la Technologie et Sciences de la matière, Département d'Hydraulique et de Génie Civil.
17. **René Motro**, « Introduction au béton armé », cours de constructions en béton.
18. **CIM BETON**, « Fabrication et pose en coffrage des armatures », centre d'information sur le ciment et ses applications, 2012.
19. **Michel Ferran, Patrick Guiraud, Jean Francois Guitonneau, Louis Jean Hollebecq, Alain Lelievre**, « l'armature du béton, de la conception à la mise en œuvre T46 », centre d'information sur le ciment et ses applications CIM Béton.

20. **J.L Vingnes, I. Beurroies**, « 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, 1997.
21. **Verbond Van de Glasindustrie**, « renseignement sur le matériau Verre », Fédération de l'industrie du verre asbl, Bruxelles.
22. **Gérard Pajean**, « une petite Encyclopédie du verre l'élaboration du verre », membre du comité scientifique et technique de la revue verre.
23. « **Les couverture en tuiles** », document PDF sur internet (Absence des informations sur l'auteur).
24. « **Produit céramiques** », chapitre 2, document PDF sur internet. (Absence des informations sur l'auteur).
25. **Schreiber Lgor**, « Terre, les briques », document PDF sur internet. (Absence des informations sur l'auteur).
26. « **Matériaux terre, Tuile en terre cuite** », document PDF sur internet. (Absence des informations sur l'auteur).
27. « **Dimensionnement des structures en béton** », document PDF sur internet. (Absence des informations sur l'auteur).
28. « **Les armatures pour béton armé** », document PDF sur internet. (Absence des informations sur l'auteur).
29. **Planète Tp** Association pour la Connaissance des Travaux Publics « **asco TP** »  
<http://www.planete-tp.com/les-nouveaux-betons-r410.html>.
30. Savoirs Associés Développés S2.1.4 – La Corrosion. Baccalauréat Professionnel Réparation Des Carrosseries. Lycée Gaston BARRÉ RD, Document PDF sur internet.
31. La Porcelaine Dans La Salle De Bain : Fabrication, Qualités Et Défaut. 2018  
<https://www.masalledebain.com/blog/porcelaine-sanitaire-salle-de-bain-fabrication-qualite-defaut-n107>.
32. **Henri le doussal, marcel vouillemet**, « Céramiques de bâtiment - Carreaux et produits sanitaires », 1997.
33. **N. El Jouhari**, introduction à la technologie verrière, Université Mohammed V–Agdal, Faculté des Sciences, Département de Chimie.