

République Algérienne démocratique et populaire



Université M'HAMED BOUGUERRA
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de génie des matériaux



Mémoire de fin d'études

En Vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière: Génie des matériaux

Spécialité : Structure et Comportement Mécanique des Matériaux

Thème

***Etude de L'influence
des différents dosages d'adjuvants
sur le comportement mécanique
d'un béton ordinaire***

Réalisé Par :
CHEBAB FATEH
OUKIL ILYES

Sujet Proposé et suivi par :
Dr. KHERIBET R.
Pr. BEZZAZI B.

BOUMERDES 2016/2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
حَمْدُهُ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents.

Mes chers frères et sœurs.

*Pour leurs sacrifices, aides, conseils
Et leurs générosités qui m'ont permis
de réalisé ce travail*

A mon binôme fateh et sa famille.

A mes adorables amis.

A toutes les personnes chères à mon cœur.

Oukil ihyes.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents.

Mes chers frères et sœurs.

*Pour leurs sacrifices, aides, conseils
Et leurs générosités qui m'ont permis
de réaliser ce travail*

A mon binôme Ilyes et sa famille.

A mes adorables amis.

A toutes les personnes chères à mon cœur.

Fateh chebab.

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE THEORIQUE

- Tableau 1 : la teneur des constituants de béton en poids et en volume
- Tableau 2 : pourcentage des constituants
- Tableau 3 : classe granulaire
- Tableau 4 : valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX
- Tableau 5 : différents types de ciments en fonction de leur composition
- Tableau 6 : résistance mécanique en fonction de la classe des ciments
- Tableau 7 : utilisation des adjuvants
- Tableau 8 : l'appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams

PARTIE PRATIQUE

- Tableau 1 : caractéristique physique du ciment utilisé
- Tableau 2 : caractéristique mécanique du ciment utilisé
- Tableau 3 : composition chimique de ciment utilisé
- Tableau 4 : composition minéralogique du ciment utilisé
- Tableau 5 : caractéristiques physiques des granulats utilisés
- Tableau 6 : caractéristique de sable (ESV – ESP) utilisé
- Tableau 7 : caractéristique de gravier (LA – MDE) utilisé
- Tableau 8 : caractéristique de (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12) utilisé
- Tableau 9 : caractéristique de (SIKA FLUIDE 300) utilisé
- Tableau 10 : analyse granulométrique de sable BBA
- Tableau 11 : analyse granulométrique de sable BOUSSADA
- Tableau 12 : analyse granulométrique de gravier 3/8 utilisé
- Tableau 13 : analyse granulométrique de gravier 8/15 utilisé
- Tableau 14 : analyse granulométrique de gravier 15/25 utilisé
- Tableau 15 : Les quantités des constituants utilisés
- Tableau 16 : Résultats de l'affaissement obtenu (Béton témoin)
- Tableau 17 : Les résultats de la résistance à la compression de 7 et 28 jours (Béton témoin)
- Tableau 18 : Résultats de l'affaissement obtenu (tempo 12)
- Tableau 19 : Les résultats de la résistance à la compression de 7 et 28 jours (tempo 12)
- Tableau 20 : Résultats de l'affaissement obtenu (sika fluide 300)
- Tableau 21 : Les résultats de la résistance à la compression de 7 et 28 jours (sika fluide 300)
- Tableau 22 : résultats de la résistance à la traction de obtenu

LISTE DES FIGURES

PARTIE THEORIQUE

Figure 1 : pâte du ciment

Figure 2 : granulats concassés

Figure 3 : granulats roulés

Figure 4 : Mesure de l'équivalent de sable

Figure 5 : Appareil essai Micro-Deval

Figure 6 : Appareil essai L-A

Figure 7 : Influence du dosage en eau à un dosage du ciment fixé [Dreux et Festa, 1998]

Figure 8 : constituants principaux du béton

Figure 9 : mode d'action de super plastifiant

PARTIE PRATIQUE

Figure 1: évolution de la résistance à la compression du béton témoin en fonction du temps

Figure 2 : évolution de la résistance à la compression (TEMPO12) en fonction du temps

Figure 3 : évolution de la résistance à la compression (SIKA FLUIDE 300) en fonction du temps

Figure 4 : histogramme de la résistance à la compression à 28 jours

Figure 5 : histogramme de la résistance à la compression à 7 jours

Figure 6 : courbe de l'influence de la teneur des adjuvants sur l'affaissement du béton

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE1

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I

Généralités sur les bétons.....2

CHAPITRE II

I-DEFINITION.....7

I-1-A-PATE DE CIMENT8

I-2- LES CONSTITUANTS DU BETON.....8

I-2-A- LES GRANULATS.....9

I-2-A-1-CARACTERISTIQUES DES GRANULATS.....9

a) - CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

- a-1-classe granulaire
- a-2-courbe granulométrique
- a-3-module de finesse
- a-3-forme et coefficient d'aplatissement

b)- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES.....11

- Masse volumique apparente
- Compacité et porosité
- Coefficient d'absorption
- Foisonnement des sables
- Propreté

c)- CARACTERISTIQUES MECANIQUES.....13

- Los Angeles (LA)

• Micro-Deval (MDE)	
• Sensibilité au gel (G)	
d)- DIFFERENTS TYPES DES GRANULATS.....	15
• d-1-granulats courants	
• d-2-granulats lourds	
I-2-B- EAU DE GACHAGE.....	16
I-2-C- CIMENT.....	18
A- DEFINITION.....	18
B- CONSTITUANTS PRINCIPAUX.....	19
C- DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS COURANTS.....	21
D- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	21
E- CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.....	22
F- CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES CIMENTS COURANTS.....	23
D- LES ADJUVANTS.....	24
D-1- DEFINITION.....	24
D-2- CLASSIFICATION.....	25
D-3- LES SUPER PLASTIFIANTS.....	25
I-3- CARACTERISTIQUES ET FORMULATION DU BETON.....	28
I-3-2- CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BETONS.....	29
A- BETON FRAIS.....	29
B- BETON DURCI.....	31
<u>PARTIE PRATIQUE</u>	
CHAPITRE III (étude de la caractérisation).....	32
I- ETUDE ET CONTROLE DES CONSTITUANTS.....	33
I-1- CIMENT.....	33

A. LES ESSAIS PHYSIQUES	
B. LES ESSAIS MECANIQUES	
C. LES ESSAIS CHIMIQUES	
I-2- EAU DE GACHAGE.....	35
I-3- LES GRANULATS.....	35
➤ SABLE	
➤ GRAVIER	
I-4- LES ADJUVANTS.....	36
A. TEMPO12	
B. SIKA FLUIDE 300	
C. LES CARACTERISTIQUES DES ADJUVANTS	
II- ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS.....	38
III- CALCUL DE LA COMPOSITION PAR LA METHODE DE « DREUX- GORISSE.....	41
IV- LES EPROUVETTES POUR ESSAIS SUR LES BETONS.....	45
V- METHODOLOGIE EXPERIMENTALE.....	47
Conclusion générale.....	54

Présentation

De

Laboratoire

INTRODUCTION GENERALE

LES BETONS :

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. Environ, quatre milliards de mètre cubes de béton sont utilisés tous les ans dans le monde pour la Construction d'ouvrage de toutes sortes : bâtiment, ponts, routes, tunnels, aéroports, centrales thermiques et nucléaires et de plates-formes offshore .Ce choix universel est fondé sur des critères techniques et économiques ,C'est-à-dire, le bon comportement dans le temps, face aux agressions physico-chimiques de l'environnement. Les critères économiques sont évalués à partir de la disponibilité et du coût des matières premières.

Objectif visé par ce travail

Dans ce travail. Nous nous proposons d'étudier les effets des deux adjuvants (retardateur et accélérateur de prise) sur le comportement mécanique du béton ordinaire.

Méthodologie du travail :

Ce mémoire comportera d'abord une partie théorique traitant des principaux constituants du béton et des différents paramètres technologiques qui influent sur le comportement mécanique du béton ordinaire.

Ensuite, nous exposerons, au deuxième chapitre, les méthodes d'essais et les caractéristiques des matériaux utilisés.

Puis, nous donnerons, au troisième chapitre, les résultats obtenus avant de les interpréter.

Enfin, nous terminerons par une conclusion et des recommandations.

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I
GENERALITES SUR
LES BETON

I.GENERALITES SUR LES BETONS*Historique du béton :*

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, et d'eau, et parfois d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ses constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles. Cette roche artificielle résiste bien à la compression et mal à la traction, c'est pourquoi son utilisation ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé(1784), ce qui a permis de compenser son insuffisante résistance à la traction.

En 1930, un pas important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint qui permet la distribution des contraintes dans la matière, d'où une grande résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction.

Depuis 1970, des recherches menées sur le béton et, particulièrement, sur ses constituants actifs sont conduites à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton a été fabriqué et mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives, qui sont utilisés, pour la 1^{ère} fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des bétons de 400 MPa fabriqués par un traitement thermique, et mécanique appropriés et simple. Ensuite, Pierre RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique. En 1986, des chercheurs Japonais ont, pour la première fois, fabriqué le béton auto plaçant ou béton auto nivelant. [1]

I.2 définition :

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 : leur masse volumique varie dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), les dimensions des éléments les plus fins peuvent descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).

Tableau 1: La teneur des constituants de béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Air	Ciment	granulats
Volume(%)	14-22	1-6	7-14	60-78
Poids(%)	5-9	-	9-18	63-85

Toutes les opérations de mise en œuvre (Formulation, préparation du béton frais, transport et mise en place) sont importantes si on veut obtenir un béton dense et homogène.

Pour être durable, un béton doit être :

- * bien composé.
- * correctement mis en œuvre.
- * Protégé des causes possibles d'altération par des dispositions constructives adéquates.

Les conditions favorables pour le durcissement d'un béton sont :

- L'humidité

- La température supérieure à 50°C.
- Le calme pendant la période de cure (absence de sollicitation d'ordre mécanique ou physique)

1. Principaux avantages et inconvénients du béton

1.1 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 la Pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.

. Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays, en quantités presque illimitées.

1.2 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 quelques inconvénients suivants :

- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des béton légers spéciaux)
- Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.

2. Classification du béton

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place grâce à sa résistance ses propriétés thermiques, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général, le béton peut être classé en 4 groupes, selon sa 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 ou bitumineux (bitume).

a) Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.

b) Les bétons lourds dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.

-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 du point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité du liant qui est le plus cher. En plus, produit 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.

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 au laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

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

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés 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, et la dessiccation.

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton on utilise le vieux principe: 2/3 de gros éléments et 1/3 d'éléments fins, soit 800 litres de gravillons et 400 litres de sable par mètre cube de béton pour 350 à 400 kg de ciment. La quantité d'eau de gâchage. Varie trop souvent au gré du savoir-faire du maçon, la nature du ciment, l'humidité du granulat passant après la consistance du béton à obtenir. La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés.

CHAPITRE II

LES CONSTITUANTS DU BETON

CHAPITRE I

I- DEFINITION :

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 : leur masse volumique va, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton résine, béton d'hydrocarboné et béton d'argile, etc.

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.[1]

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et le plus souvent, adjuvants (figure I.1) qui constitue un ensemble plus ou moins homogène. Les composants sont très différents : les masses volumiques dans les bétons courants varient de 1 t/m³ (pour l'eau) à 3 t/m³ (pour ciment); les dimensions de leurs grains varient de 0.5 µm (grains du ciment) à 25 mm (gravillons).

TABLEAU 2: POURCENTAGE DES CONSTITUANTS

Constituants	Volume (%)	Poids (%)
Granulats	60-78	65-85
Ciment	7-14	9-18
Eau	14-22	5-9
Air	1-6	-
G/S	1,4	2,2
Adjuvant	Selon la fluidité désirée	

I.1. Pâte de ciment

La pâte de ciment correspond à l'ensemble (ciment + eau + air + additions+ adjuvants). La pâte présente à l'intérieur du béton, joue, à la fois, le rôle de liant et de remplissage. Elle contribue à l'écoulement suivant un processus rhéologique lié essentiellement à sa viscosité [Nguyen T.L.H, 2007]. Celle-ci peut être présentée schématiquement comme une suspension des particules suspendues dans un liquide newtonien qui est l'eau. [2]

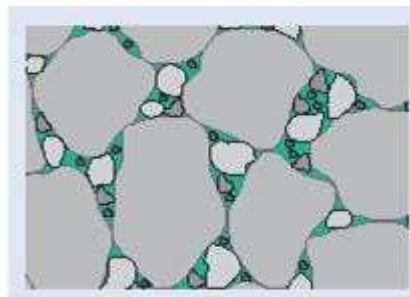


Figure .1 : pâte du ciment

I-2- LES CONSTITUANTS DU BETON :

I-2-A- LES GRANULATS :

On appelle granulats les matériaux d'origine minérale,(gravillons, sable, sablons et fillers) qui entrent dans la composition des bétons. Ils sont spécifiés dans la norme : NF P 18-573 décembre 1990 « granulats ».

On donnera le nom de granulats à un ensemble de grains inertes destinés à être agglomérés par un liant en formant un agrégat.

Les granulats sont classés en plusieurs catégories avec des spécifications particulières pour chacune d'elles : la catégorie A correspond aux granulats destinés à la confection du béton de qualité tels que ceux destinés à la construction d'ouvrages d'art ou de bâtiments pour lesquels la résistance caractéristique R_c est supérieure ou égale à 35 Mpa .

Les granulats de catégories B sont destinés à de bons bétons ainsi qu'à ceux pouvant être situés dans un environnement agressif, Condition que leur coefficient d'absorption respecte les spécifications imposées aux granulats de catégories A.

Les granulats de catégories C et D conviennent pour les bétons courants à condition, dans le cas d'utilisation de granulats D, que seuls 2 de leurs caractéristiques soient présentes et que les autres correspondent à celles des catégories supérieures, faute de quoi, ils ne doivent pas être utilisés dans la courante confection de béton. [3]

I-2-A-1-CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

a) - CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

a)-1- Classe granulaire:

La granularité est la distribution par dimension des grains d'un granulat. L'analyse granulométrique est la méthode d'essai pour déterminer la granularité, cette opération consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carré (0,16 – 0,31 – 0,63 – 1,25 – 2,5 – 5 – 10 – 20 – 40 – et 80 mm) et peser le refus obtenu sur chaque tamis. On trace ensuite la courbe.

a)-2- Courbe granulométrique :

On trace les courbes granulométriques sur un graphe de référence, présentant en ordonnées, les pourcentages des passant ou refus, en abscisse l'ouverture de la maille.

On exclut les gros grains > 80mm et les fines < à 80 μ .

La forme des courbes granulométriques apporte les informations
Suivantes :

- ❖ Limite des différentes fractions d et D.
- ❖ La plus ou moins grande proportion d'éléments fins.
- ❖ La continuité ou la discontinuité de la granularité.

En fonction des refus cumulés de la plus petite et la plus grande dimension.

La norme NF – P18 – 101, on a la classe granulaire suivante :

TABLEAU 03 : CLASSE GRANULAIRE.

Types	Dimensions (mm)
Fillers 0/D	$D \leq 2$
Sables 0/D	$1 < D < 6.3$
Gravillons d/D	$d > 1$ $D \leq 31.05$
Cailloux d/D	$d > 20$ $D \leq 80$
Graviers	$6.3 < D < 80$

a)-3- Module de finesse :

Le module de finesse d'un granulat est égal à la somme des refus exprimés en pourcent les différents tamis de la série suivante :

- ❖ Sable : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 (mm).
- ❖ Gravier : 10 – 20 – 40 – 80 (mm)

Le module de finesse est une caractéristique intéressante en ce qui concerne un sable. Pour celui-ci, le MF doit varier entre 2.2 et 2.8, au –dessous duquel, le sable renferme plus de fins, ce qui nécessite un excès d'eau, et en dessus, le sable contient moins de fines particules, donc le béton perd son ouvrabilité. La norme prévoit pour les catégories de sable, les limites du M_f . [3]

- ❖ Sable A : $MF = 2.2$ à 2.8
- ❖ Sable B : $MF = 1.8$ à 2.2
- ❖ Sable C : $MF = 2.8$ à 2.3

a)- 4- Forme et coefficient d'aplatissement :

La forme des granulats a une incidence directe sur la malléabilité du béton. La souhaitée est la sphère, alors que la forme plate est mauvaise, elle demande une quantité d'eau élevée et donc des défauts.

Voici deux types de granulats (Roulés et concassés) selon la forme :



Fig. (2) granulats concassés



Fig. (3) granulats roulés

Ainsi, on peut donner quelques valeurs V_{ss} (valeurs spécifique supérieur) pour les catégories de sable. Voir tableau ci-dessous :

CATEGORIE DE SABLE	V_{ss} %
A	20
B	30
C	35
D	40

L'ancienne norme parlait de A en % et celui-ci doit être $< 30\%$.

La nouvelle norme remplace le terme en% par V_{ss} et indique le % donné dans le tableau.

b)- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

On les classe en deux groupes :

- ❖ Celles qui concernent les granulats eux-mêmes, c'est-à-dire, la masse volumique des grains, la porosité.
- ❖ Celles qui concernent les substances organiques étrangères et nocives telles que les sulfates, les chlorures.

• Masse volumique apparente :

C'est le rapport de la masse du granulat sec au volume plein des granulats .

- **Compacité et porosité :**

La porosité d'un granulat exprimée en %, représente le rapport entre le volume des vides contenus dans les grains au volume absolu des grains.

- **Coefficient d'absorption :**

C'est le rapport de l'augmentation de la masse des granulats provoquée au bout de 24h par imbibition partielle à la masse sèche, Ce coefficient mesure le volume des pores accessible à l'eau.

- **Foisonnement des sables :**

Le volume occupé par le sable sec augmente en même temps que son humidité. On appelle le coefficient de foisonnement f en % l'augmentation du volume correspondant à une humidité donnée, par rapport au volume occupé par la même quantité de sable à l'état sec.

$$F = V \text{ humide} - V \text{ sec} / V \text{ sec.}$$

Propreté :

Le granulat doit être propre. La loi interdit tout déchet nuisible à la résistance du béton tel que : les sciures de bois, la ferraille, le pourcentage est inférieur à 1%. Le granulat ne doit pas aussi contenir des huiles et matières organiques.

La présence de l'argile diminue l'adhérence entre mortier et gravier, donc diminue la résistance. Un excès de fine entraîne un dosage important en eau, mais un manque de fines conduit à peu de malléabilité. Pour les sables, la propreté est mesurée par la détermination de l'équivalent de sable.

- **Principe :**

On agite une quantité de sable dans une solution lavante. On laisse reposer et on mesure la hauteur du dépôt de sable visible, égale à h_1 et la hauteur totale avec le floculat est h_2 . L'équivalent de sable est calculé suivant la formule.

$$E-S = h_1/h_2 \times 1.$$

On rencontre l'équivalent de sable à vue et à piston (*E.S.V* et *E.S.P*)

TABLEAU 04 : valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq PS < 70$	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$PS > 80$	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

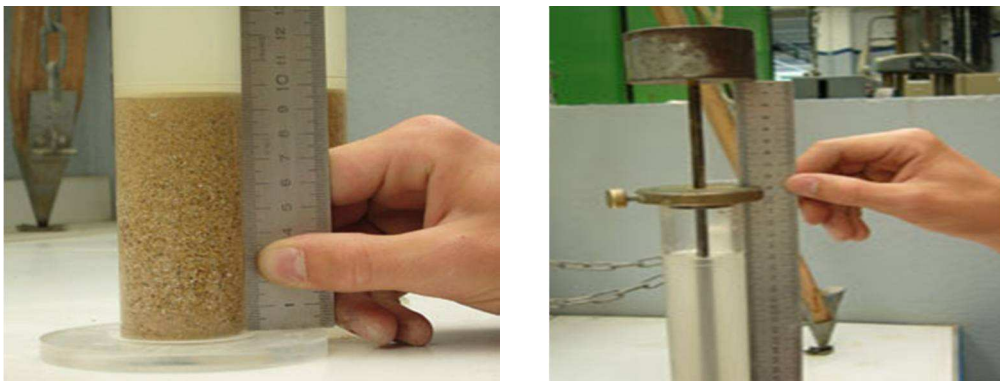


Fig.4: Mesure de l'équivalent de sable

C)- CARACTERISTIQUES MECANIQUES

La nature du matériau est caractérisée par la roche ou le produit constituant le grain : basalte calcaire, grés, barytine... Le grain peut être un produit naturel obtenu par criblage (grain plus ou moins arrondi) ou un produit de concassage (grain plus ou moins anguleux). La qualité est déterminée par des essais d'écrasement ou d'usure. On a :

- **Los Angeles (LA) :**

C'est un essai courant, il consiste à introduire dans un cylindre horizontal une quantité de granulat à étudier en présence de boules d'acier et de vérifier la quantité de fines

obtenue après un temps de rotation. La norme prévoit pour les granulats la classification suivante :

Type	Vss en %
A	30
B	40
C	40
D	50



Fig. 5. Appareil essai L-A

- **Micro-Deval (MDE) :**

C'est un contrôle identique au précédent (LA), mais dans ce cas, le but n'est pas de mesurer la teneur des fines mais d'apprécier les phénomènes d'usure. Concernant les qualités des sables, on utilise l'essai de friabilité du sable, le coefficient F_s , est déterminé suivant la norme P 18 576. La norme donne :

Le F_s doit être < 60 pour un béton de $f_{c28} = 36$ MPa.



Fig.6:Appareil essai MICRO-DEVAL

- **Sensibilité au gel (G)**

Le granulat doit être insensible au gel dégel. Le granulat est considéré non gélif lorsqu'il respecte l'une des valeurs spécifiées, à savoir, Absorption < 1%, LA < 25, (G < 30).

Le coefficient G consiste à mesurer, sur une partie d'un granulat coupé en deux, le LA, et sur l'autre partie une série de cycle gel dégel (G /D) suivi de l'essai de LA. Les résultats sont : le grain soumis à l'essai de LA, tandis que l'autre grain donne Lag, et le coefficient est calculé par :

$$G = (Lag - LA) / LA .100$$

Plus le G est grand, plus la sensibilité est grande.

D)- DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS

Pour obtenir un béton de bonnes résistances mécaniques, d'autres critères sont à étudier. Le sable et le gravier doivent être choisis de telle sorte qu'ils soient siliceux, ou calcaires, de porosité faible, (inférieure à 3%) et non friables, ni tendres et, surtout, inertes vis-à-vis du ciment.

- ❖ Il faut exclure tout granulat altérable, nocif.
- ❖ Les sables qui se décomposent lentement à l'air et à l'eau.
- ❖ Les calcaires tendres doivent être éliminés.

D)- 1- Granulats courants :

On désigne par granulats courants celui qui présente une masse volumique supérieure à 2 t/m^3 .

Généralement, on utilise des roches sédimentaires qu'on réduit en granulats, après concassage.

D)-2- Granulats lourds :

Ils sont utilisés dans les bétons lourds employés dans la construction d'ouvrages qui nécessitent une protection particulière, on cite le cas des accélérateurs et piles atomiques, la protection est plus facile avec l'épaisseur. On cite : la baryte (sulfate de baryum de densité 4,5) ; la magnétite c'est un oxyde de fer de densité de 4,5 ; la grenaille de fonte avec une densité de 7,5.

I-2-B- EAU DE GACHAGE

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont fixées par la norme

NF P 18-303 de 1941. Une prochaine norme (dont le numéro pourrait être EN 1008), en cours de préparation, précisera les critères d'évaluation retenus pour juger de son aptitude à être utilisée pour la confection des bétons.

Pour convenir à la confection du béton, les eaux ne doivent contenir ni Composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originales.

La norme P18-303 limite, à cet effet, le Pourcentage de Matières en suspension à 2 ou 5g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30g/l, suivant la nature du béton, précontraint ou non armé, spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs, même en très faible pourcentage, de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection du béton, On trouve :

- ❖ Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent).
- ❖ Les eaux de recyclage provenant de rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs.
- ❖ Les eaux de pluie et de ruissellements.

A côté, les catégories d'eau ne devant pas être utilisées comprennent.

- ❖ Les eaux usées.
- ❖ Les eaux vannes ou contenant des détergents
- ❖ Les eaux industrielles.

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non nocivité avant tout emploi.

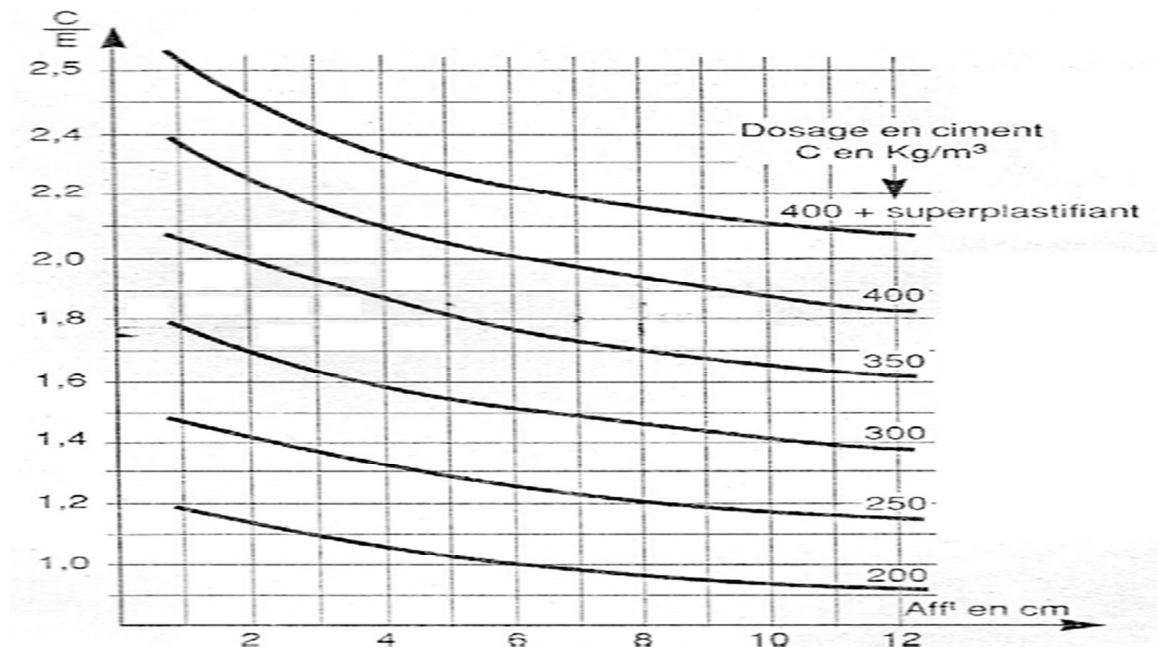


Fig.7: Influence du dosage en eau à un dosage du ciment fixé [Dreux et Fiesta,1998]

L'ajout d'eau a bien sûr pour conséquence d'augmenter l'ouvrabilité du béton.

A titre d'exemple, la **Figure 7** montre un abaque tiré de la méthode de formulation de Dreux et Gorisse, qui permet, pour différents dosages en ciment, d'évaluer la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un affaissement visé.

I-2-C- CIMENT**A- DEFINITION**

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit. Le ciment est obtenu après broyage du clinker auquel on a ajouté 3 à 5 % de gypse.

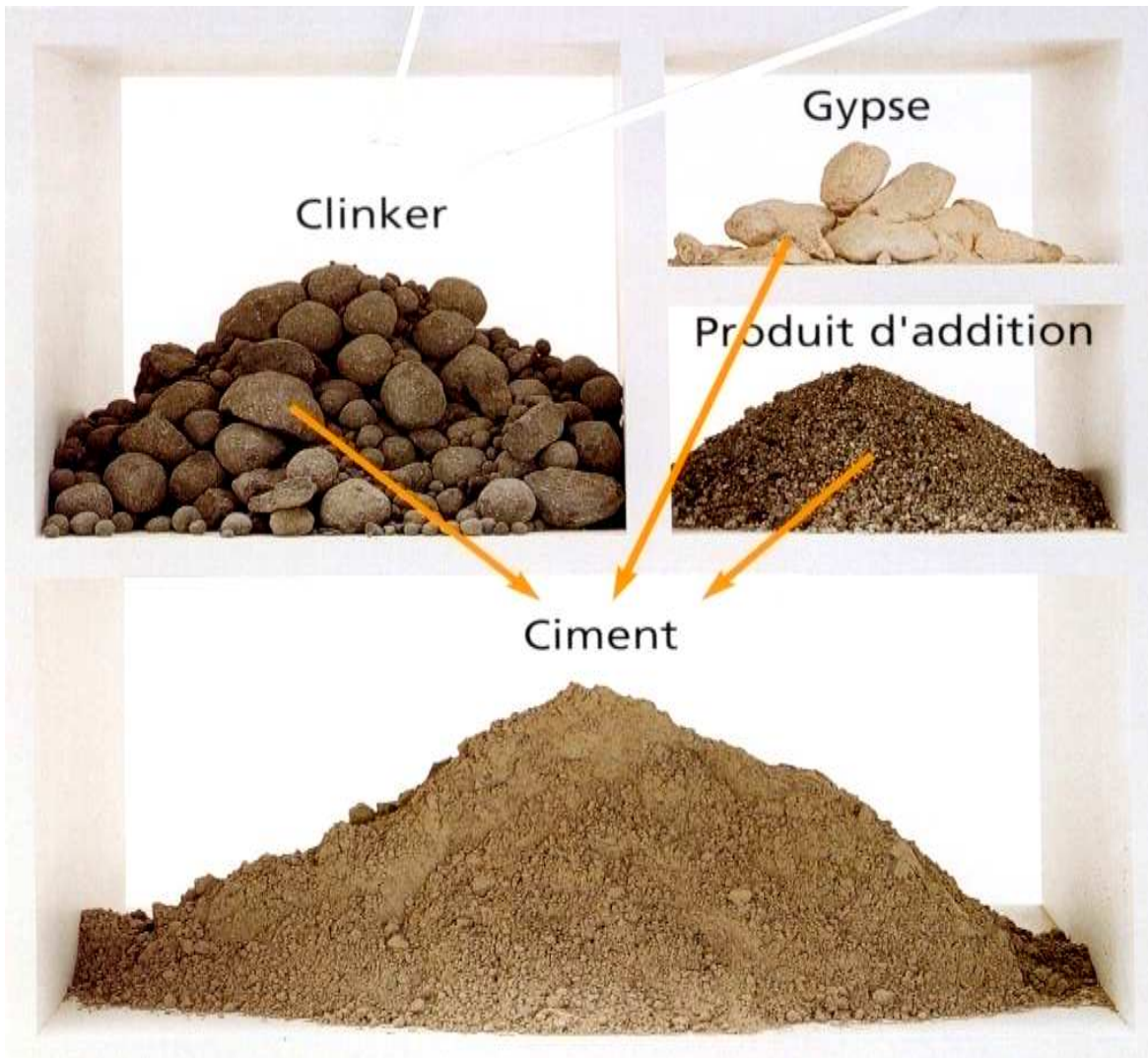


Figure 8 : constituants principaux du béton

B- CONSTITUANTS PRINCIPAUX

Les ciments courants ont pour constituants le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- ❖ la silice Du calcaire,
- ❖ Du laitier de haut fourneau,
- ❖ Des cendres volantes,
- ❖ Des fines calcaires,
- ❖ De la pouzzolane naturelle,
- ❖ Des schistes calcinés,
- ❖ Des fumées

B-1- Constituants du clinker :

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont :

- ❖ Le silicate tricalcique « alite » $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_3\text{S})$ (50-70% du clinker).
- ❖ Le silicate bicalcique « bélite » $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_2\text{S})$ (10-30% du clinker).
- ❖ L'aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{C}_3\text{A})$ (2-15% du clinker).
- ❖ L'alumino-ferrite tétracalcique (ferro-aluminate tétracalcique) $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{C}_4\text{AF})$ (5-15% du clinker).

B-2- laitier granulé de haut-fourreau :

Le laitier, sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. il est se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50%, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 et 30%. Ainsi que de la magnésie et d'autre oxydes en très faibles quantité, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

B-3- cendres volantes :

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- ❖ siliceuses (v), qui présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante, faisant prise et durcissant par hydratation.

❖ Calciques (w), qui présentent des propriétés pouzzolanique, elles peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

B-4- pouzzolanes naturelles :

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25%), d'alumine et d'oxyde fer.

B-5- schistes calcinés :

Ces produits, obtenues à des températures de l'ordre de 800°C, présentent, outre leurs propriétés pouzzolaniques, des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés. Actuellement, les ciments fabriqués en France ne comportent pas les schistes calcinés.

B-6- calcaires :

Les calcaires utilisés comme constituants du ciment et non comme constituant secondaire, c'est-à-dire lorsqu'ils représentent plus de 5% de la masse totale du ciment, doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75% en masse.

B-7- Constituants secondaires :

Les constituants secondaires peuvent être :

❖ Soit l'un des constituants définis précédemment s'ils sont en proportion $< 5\%$ Exception faite de clinker.

❖ Soit des fillers (F), leur nature exacte et leur proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3%.

B-8- Sulfate de calcium :

Le sulfate de calcium a pour effet de réguler la prise de ciment. Le sulfate de calcium qui peut être du gypse, de l'anhydrite ou de l'hémi hydrate, doit être ajouté en faible quantité, c'est-à-dire de l'ordre de 3 à 5% maximum.

B-9- Additions :

Les additifs ne doivent présenter aucune action nocive sur les propriétés des ciments mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques, Il peut s'agir d'agents de mouture, fréquemment employés, qui sont des sels organiques solubles utilisés à des doses extrêmement faibles. Ils agissent comme dé flocculant, empêchant ainsi les phénomènes de ré agglomération des grains en cours de broyage.

C- DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS COURANTS

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme. On peut citer :

C-1- ciments portland artificiels CPA :

La norme NF P 15-301 précise que ce type de ciment est constitué d'au moins 95% de clinker, le reste étant des constituants secondaires. Selon le type et l'importance de l'ouvrage, on choisit la classe de ciment à utiliser.

C-2- Ciments portland composés CPJ :

La même norme citée ci-dessus définit la composition de CPJ de 80 à 94 % de clinker ou bien de 65 à 79 %.Le reste pouvant être un ou plusieurs des constituants suivants. Cendre, laitier, pouzzolane, calcaire... dans les proportions de 6 à 20 % ou 21 à 35 %, ainsi qu'éventuellement des fillers dans la proportion maximale de 5 %.Actuellement, ces ciments sont largement utilisés.

C-3- Ciments de haut fourneau CHF et CLK :

Ils sont constitués d'au moins 35 à 65 % de laitier, le reste étant composé de clinker ; comme ils peuvent contenir jusqu'à 5 % de constituants secondaires.

B-4- ciment au laitier et aux cendres CLC :

Ils sont constitués de 40 à 64 % de clinker et de 18 à 30 % de laitier ainsi que de pouzzolane naturelle ou de cendres volantes avec la même proportion de laitier et 5 % des constituants secondaires.

D- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES**D-1- Comportement physico-chimique de la pâte :**

Comme cela a été étudié au premier paragraphe, le ciment est constitué essentiellement de :

- ❖ **C₃S : silicate tricalcique.**
- ❖ **C₂S:silicate bicalcique.**
- ❖ **C₃A: aluminium tricalcique.**
- ❖ **C₄AF : aluminoferritetétracalcique.**

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système constituants des hydrates stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Chacune des phases précédentes a un rôle dans l'acquisition des propriétés du ciment hydraté, on aura donc les phases suivantes.

D-1-1- Phase initiale :

Une dissolution superficielle des silicates tricalciques formant ainsi un mono silicate de calcium hydrate et l'étringite.

D-1-2- Phase dite dormante :

Au cours de laquelle la pâte reste fluide, avec la présence de la réaction précédente lentement pendant 2 à 3 heures.

D-1-3- Phase de prise :

Au cours de laquelle la pâte acquiert une certaine consistance due à l'interpénétration des cristaux.

D-1-4- Phase de durcissement :

Qui se développe environ huit heures après le début d'hydratation et qui se poursuit pendant des années à une vitesse de plus en plus lente et dont le résultat est l'augmentation de la résistance mécanique et de la compacité. La réaction d'hydratation du ciment s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de la prise.

E- CARACTERISTIQUES CHIMIQUES**E-1- Ciments courants :**

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau ci-après, quant à leur composition chimique.

TABLEAU 05 : DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS EN FONCTION DE LEURS COMPOSITION.

Propriété	Type de ciment	classe de résistance	Valeur maximale en % de la masse
Perte au feu	CPA –CEM I CAP-CEM III CLK-CEM III	Toutes classes	≤ 5
Oxyde de MgO	CPA-CEM I	Toutes classes	≤ 5
Sulfate SO ₃ limite supérieure	CPA –CEM I	32.5	≤ 3.5
	CPJ-CEM II	42.5	≤ 4
	CPZ-CEM IV	32.5	
	CLC-CEM V	42.5	
	CHF-CEM III	Toutes classes	≤ 4
Chlorures	Tous types de ciments	52.5 R Toutes les autres classe	≤ 5

F- CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES CIMENTS COURANTS :

Les ciments courants sont classés en fonction de leur résistance mécanique à la compression exprimée en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes :

TABLEAU 06 : Résistance mécanique en fonction de la classe des ciments.

Classe des ciments	Résistance à 2 jours	Résistance min à 28 jours	Résistance max à 28 jours
32.5	-	≥ 32.5	≤ 52.5
32.5R	≥ 13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥ 12.5	≥ 42.5	≤ 62.5
42.5R	≥ 20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥ 52.5	-
52.5R	≥ 30	≥ 52.5	-

Les classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et trouvent leur intérêt, particulièrement, dans certaines circonstances telles que bétonnages par temps froids, décoffrage rapide, préfabrication.

D- LES ADJUVANTS :**D-1- Définition :**

Les adjuvants sont des produits chimiques qui sont incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 05% du poids du ciment, provoquent les modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci, Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvent dans les commerces sous forme de liquide ; certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur coût de transport (Cas des chantiers à l'export). [5]

A l'état frais ou à l'état durci, ils deviennent des auxiliaires indispensables et un constituant normal des bétons modernes.

Leur emploi n'est plus une aventure car ces produits mis sur le marché sont contrôlés et choisis, par des fabricants et des laboratoires. Les utilisateurs peuvent choisir en connaissance de cause, mais à condition d'en être informé. (Notice technique).

D-2-Classification:

On peut classer les adjuvants selon leur fonction dans les catégories suivantes :

- Les superplastifiants
- Les retardateurs
- Les accélérateurs
- Les hydrofuges

On peut également citer d'autres adjuvants tels que :

- Les produits de cure
- Les entraîneurs d'air
- Les ajouts cimentaires

D-3-Les super plastifiants:

- **Définition:**

Un super plastifiant est un adjuvant qui, introduit dans un béton, un mortier ou coulis, a pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange[7].

- **Mode action:**

En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électriques. L'action d'un super plastifiant passe nécessairement par son absorption sur les particules de ciment.

Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entoure d'un film d'eau très mince. Ainsi on obtient un grain

de fluidité, puisque les grains de ciment sont mieux dispersés. L'eau existante sert alors de fluidifier le béton.

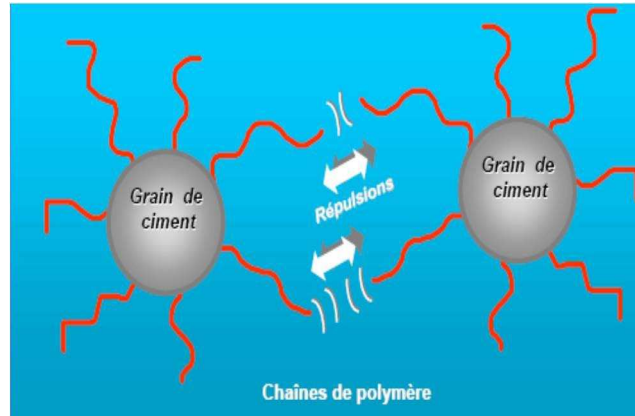


Fig.9: Mode d'action de super plastifiant

Dans certains cas, l'ajout de super plastifiant est directement additionné dans la toupie du camion afin d'éviter une perte de fluidité pendant le trajet. Le super plastifiant est ajouté dans le béton puis malaxé pendant 3 minutes dans la toupie à vitesse maximum.[4]

- **Influence sur le moment d'addition du SP dans le béton:**

L'addition du super plastifiant ne doit jamais se faire sur un béton sec (c'est-à-dire avant l'ajout de l'eau). Il sera absorbé par les agrégats et le sable d'où son inefficacité avec le ciment.

Le super plastifiant est plus efficace lorsqu'il est ajouté après l'humidification du béton (environ 75% de l'eau de gâchage) ou fractionné dans le cas d'un E/C très bas.

D-4-Quelque utilisations des principaux adjuvants**Tableau07: Utilisation des adjuvants[4]**

Adjuvant	UTILISATION
Accélérateur	Décoffrage rapide; Temps froid; Préfabrication; Travaux d'étanchéité, cachetage, travaux à la mer, Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes,
Retardateur	Temps chaud; Injection à grande profondeur; Voile d'étanchéité; Transport de béton sur grande distance; Reprise de bétonnage - confection de béton avec
Plastifiant	Transports pneumatiques du béton (béton pompé); Béton coulé sous l'eau ; Béton maigre ; Sables manquant de fines ; Béton très ferraillé ; Injection.
Antigel	Bétonnage jusqu'à 10° C (temps très froid) sous réserve de précautions particulières.
Hydrofuge	Mortiers d'enduit, Enduit et chapes d'étanchéité pour cuvelage - Citernes -Réservoirs - Piscines - Galeries - Tunnels - Travaux souterrains
Fluidifiant	Nécessite d'une bonne ouvrabilité ; Préfabrication; Bétons à haute résistance.

I-3- CARACTERISTIQUES ET FORMULATION DU BETON

I-3-1- LES DIFFERENTES METHODES DE FORMULATION DU BETON

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton pour que les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage souhaité.

Les méthodes proposées sont nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes : elles aboutissent à des dosages « volumiques » ou de préférence « pondéraux ».

Le passage de l'un à l'autre pouvant toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac, ces méthodes sont dites à « granularité continue » lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne, sur le graphique granulométrique, une courbe s'élevant d'une façon continue, autrement dit, du plus petit grain de ciment ($D \approx 6,3 \text{ microns}$) aux plus gros grains (D).

On dit, par contre que l'on a une « granularité discontinue » lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires.

Ces deux types de béton « continu » ou « discontinu » ont chacun leurs partisans ou détracteurs. En fait, il n'y a pas entre ces deux types de granularité, et malgré les apparences de profondes différences justifiant la querelle, encore, persistante à leur égard. D'ailleurs, dans la plupart des cas, la continuité ou la discontinuité de la granularité dépend des granulats dont on dispose selon qu'ils présentent ou non, entre eux, des discontinuités.

Par contre, la granularité discontinue conduit à des bétons à maximum de gros éléments et minimum de sable présentant en général des résistances en compression un peu supérieure mais parfois au détriment de l'ouvrabilité. Cependant, on peut estimer que pratiquement la plupart des bétons actuellement utilisés sont à granularité continue.

Parmi les méthodes proposées on peut citer : [2]

1. METHODE DE BOLOMEY.
2. METHODE DE D'ABRAMS.
3. METHODE DE FAURY.
4. METHODE DE VALETTE.
5. METHODE DE JOISELE.
6. METHODE DE DREUX GORISSE.

Concernant la 6° méthode, elle sera citée en détail dans la partie pratique.

I-3-2- CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES BETONS

A- BETON 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.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré.

A-1- l'ouvrabilité :

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.

A-2- affaissement au cône d'abrams :

Cet essai 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. 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.

TABLEAU 08 : l'appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'abrams.

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

A-3- Etalement à la table à secousse :

Cet essai consiste plus particulièrement à tester l'aptitude du béton à s'étaler par écoulement ; il donne des valeurs faibles pour les bétons présentant une bonne cohésion (ce qui est pourtant une qualité quant à l'ouvrabilité) et donne en revanche, des valeurs plus élevées lorsque le béton a tendance à la ségrégation.

A-4- Maniabilimetre :

Cet essai tient compte de la mise en vibration du béton pour l'appréciation de sa maniabilité.

Le relevé des résultats consiste à mesurer le temps. Plus le béton est plastique, maniable et de bonne ouvrabilité et plus le temps est court, on constate en moyenne les valeurs suivants :

- ❖ Pour les bétons mous et très fluides, $t \leq 10$ seconde.
- ❖ Pour les bétons très plastiques, $t \approx 15$ seconde.
- ❖ Pour les bétons de bonne ouvrabilité $20 \leq t \leq 30$ seconde.
- ❖ Pour les bétons secs, peu maniables et d'ouvrabilités défectueuses $t \geq 40$ secondes.

B- BETON DURCI :

B-1- La résistance à la compression :

La résistance à la 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. **(16 × 32)**.

B-2- Retrait :

C'est un phénomène de raccourcissement qui accompagne la prise de ciment ; on peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de température entraînant un raccourcissement. On indique ci-après les valeurs moyennes en mm/m.

- ❖ Dans les régions très humides : $D1/1 = 1,5 \times 10^{-4}$ à 3×10^{-4} .
- ❖ Dans les régions très sèches : $D1/1 = 5 \times 10^{-4}$.

Le durcissement sous l'eau diminue beaucoup les effets de retrait. C'est pourquoi il convient de tenir les pièces humides en les arrosant pendant leur durcissement (cure du béton) à une époque où le béton très jeune n'a encore qu'une faible résistance en traction et se fissurerait facilement sous l'effet du retrait.

B-3- Fluage :

C'est un phénomène de déformation différée sous l'effet d'une charge fixe indéfiniment appliquée.

B-4- Gonflement :

La pâte de ciment ou le béton mûri continuellement dans l'eau après leur mise en place augmentent en volume et en masse. Ce gonflement est dû à l'absorption d'eau par le gel de ciment. Les molécules d'eau agissent contre des

forces de cohésion et tendent à éloigner les particules du gel, créant ainsi une pression de gonflement.

Le gonflement est très important dans l'eau de mer et sous de hautes pressions, car des structures sous-marines profondes, par cet effet, il s'en suit une intrusion des chlorures dans le béton.

B-5- Durabilité:

(Un béton résistant est un béton durable), de là, on comprend que la résistance mécanique et la durabilité doivent être prises en considération de l'étape de conception.

La durabilité est définie comme étant l'aptitude et la nécessité que chaque structure en béton puisse conserver sa résistance et continuer à remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile, cela dit le béton.

Doit être en mesure de résister aux mécanismes de détérioration auxquelles il peut être exposé.

La durabilité du béton est affectée par plusieurs facteurs physiques, chimiques ou mécaniques, donc il est très important de maintenir le béton, comme tous autres matériaux, pour qu'il assure au mieux sa fonction.

CHAPITRE III

ETUDE DE LA CARACTERISATION

I- ETUDE ET CONTROLE DES CONSTITUANTS

Dans cette section, on rappelle les caractéristique de ces différents constituants entrant dans la composition du béton car la connaissance de leurs caractéristiques est obligatoire et intéressantes a toute recherche et étude sur les bétons.

I-1- CIMENT

Le ciment utilisé est un ciment composé CEM II de classe de résistance 42.5(MATIN). Connaissant bien le rôle important que présente le ciment dans la composition du béton, on a réalisé les essais physico-chimiques nécessaires.

a) LES ESSAIS PHYSIQUES

« Tableau N° 1 » caractéristique physique du ciment utilisé.

N°	Caractéristiques	Unité	résultats
01	Consistance normale, prise	%	26
02	Début de prise.	Min.	2h 30min.
03	Fin de prise.	Min.	4h 50min.
04	Poids spécifique.	g/cm³.	3,12.
05	SSB	Cm²/g.	3915.
06	Retrait.	µm/m.	613.

Les valeurs des résultats obtenus sont compatibles avec les exigences de normes correspondantes.

b) LES ESSAIS MECANIQUE :

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

« Tableau N° 02 » caractéristique mécanique du ciment utilisé.

Essai	Age	
	7 jours	28 jours
Résistance a la compression (MPa)	29,50	47,08

C) LES ESSAIS CHIMIQUES

➤ ANALYSE CHIMIQUE

La composition chimique de ciment est donnée dans le tableau suivant :

« Tableau N° 03 » composition chimique du ciment utilisé.

Eléments	%	Eléments	%
SiO ₂	20,24	Na ₂ O	0,16
AL ₂ O ₃	4,61	SO ₃	0,16
Fe ₂ O ₃	3,92	CaO ₁	0.82
CaO	62,67	Cr	0.10
MgO	1,67	PAF	3,47
K ₂ O	0,20	Σ	100

➤ ANALYSE MINERALOGIQUE

La composition minéralogique de ce ciment, calculé par la méthode de bogue, les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

« Tableau N° 04 » composition minéralogique du ciment utilisé.

Element	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO ₁
%	57	24	04	14	<01

I-2- EAU DE GACHAGE

L'eau utilisée pour le gâchage du béton est l'eau des puits de la ville d'Oued El-Smar.

I-3- LES GRANULATS

➤ SABLE

Le sable utilisé est un sable de Boussaâda.

➤ LES GRAVIERS

Ils proviennent de la carrière de (bordj Bou Arreridj).

❖ ESSAIS PHYSIQUES

1- MASSE VOLUMIQUE, MASSE SPECIFIQUE ET LA TENEUR EN EAU, DES GRANULATS

« Tableau N° 05 » caractéristiques physiques des granulats utilisés.

Type de granulats	Masse volumique apparente (kg/ m)	Masse volumique (kg/ m)	Teneur en eau %
Sable 0/5	1490	2670	1,19
Gravier 3/8	1430	2580	0,26
Gravier 8/15	1287	2610	0,54
Gravier 15/25	2584	2650	0,42

2- Détermination de la propreté des granulats (ESV-ESP)

« Tableau N° 06 » caractéristique de sable (ESV – ESP) utilisé.

Désignation	Equivalent de sable	
	ESV	ESP
%	75,85	77,01

3-Détermination de la caractéristique mécanique des granulats (LA-MDE)

« Tableau N° 07 » caractéristique du gravier (LA – MDE) utilisé.

Désignation	Usure des granulats	
	MDE	LA
%	25.90	22.05

I-4-LES ADJUVANTS :

a) TEMPO 12

Le SIKA VISCORETE TEMPO 12 est un super plastifiant /haut réducteur d'eau polyvalent de la nouvelle génération d'adjuvants, à base de polymères combinés. En plus de sa fonction principale de super plastifiant haut réducteur d'eau, il présente comme effet secondaire un retard de prise. Il est compatible avec les ciments CPA, CPJ, CRS.

b) SIKA FLUIDE 300

Le SIKA FLUIDE 300 est un super plastifiant /haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de la très haute qualité en plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

c) LES CARACTERISTIQUES DES ADJUVANTS**❖ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12**

« Tableau N° 8 » caractéristique de (SIKA VISCOCRETE TEMPO 12) utilisé.

Caractéristiques	Valeur
Forme	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	6 (±1)
Densité	1.060 ± 0.01
Teneur en chlore	< 1g/L

SIKA FLUIDE 300

« Tableau N° 9 » caractéristique de (SIKA FLUIDE 300) utilisée.

Caractéristiques	Valeur
Forme	Liquide
Couleur	Brun fonce
PH	7.5
Densité	1.195 ± 0.015
Teneur en chlore	< 4g/L

II- ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS

A) Sable carrière BBA : prise d'essai 2000 g.

« Tableau N° 10 » analyse granulométrique de sable BBA utilisé.

Tamis (mm)	Refus		% Tamisât cumulés	Module de finesse (<i>Mff</i>)
	Masse des refus cumulés (g)	% cumulés		
5	100	5.00	95.00	3.39
4	260	13.00	87.00	
2.5	680	34.00	66.00	
1.25	1120	56.00	44.00	
0.63	1400	70.00	30.00	
0.315	1580	79.00	21.00	
0.16	1900	95.00	5.00	
0.08	1920	96.00	4.00	
0.063	2000	100	00.00	

B) Sable BOUSSAADA : prise d'essai 1000 g.

« Tableau N° 11 » analyse granulométrique de sable utilisé.

Tamis (mm)	Refus		% Tamisât cumulés	Module de finesse (<i>Mff</i>)
	Masse des refus cumulés (g)	% cumulés		
0.315	40	4.00	96.00	0.98
0.160	940	94.00	6.00	
0.080	980	98.00	2.00	
0.063	1000	100	0.00	

L'analyse granulométrique montre que le module de finesse du sable S1 est MF1=0.98 et le module de finesse du sable S2 est MF2=3.39. Cette valeur nécessite une correction à cause de la grosseur.

Pour obtenir un bon sable. Le béton doit avoir un MF égale à 2.7

Pour la correction nous avons choisi le sable S dont le MF est égal à 2.7 selon la méthode d'ABRAMS :

$$S (0/1) = ((MF - MF2) / (MF1 - MF2)) * 100$$

$$S (0/4) = ((MF1 - MF) / (MF1 - MF2)) * 100$$

- ✓ Sable de boussaada=29%
- ✓ Sable de BBA=71%

B) Gravier :(3/8) prise d'essai : 1500g.

« Tableau N° : 12» analyse granulométrique de gravier 3/8 utilisé.

Tamis (mm)	Refus		% tamisât cumules
	Masses des refus cumules (g)	% cumules	
10	8	0.40	99.60
8	84	4.32	95.68
6.3	424	21.81	78.19
5	1212	62.35	37.65
3.15	1511	77.73	22.27
2	1711	88.00	12
1.25	1943	99.90	0.01

c) Gravier :(8/15) prise d'essai : 3000g.

« Tableau N° 13» analyse granulométrique de gravier 8/15 utilisé.

Tamis (mm)	Refus		% Tamisât cumulés
	Masse de refus cumulés (g)	% cumulés	
16	100	3.33	96.67
12.5	940	31.33	68.67
10	1980	66.00	34.00
8	1000	99.33	067
6.3	20.00	3000	0.00

d) Gravier : (15/25) Prise d'essai : 5000g.

« Tableau N° 14 » analyse granulométrique de gravier 15/25 utilisé.

Tamis (mm)	Refus		Tamisât
	Masse de Refus cumulés (g)	% cumulés	
25	80.0	1.6	98.40
20	2040	40.8	59.20
16	4160	83.2	16.80
12,5	4940	98.8	1.2
10	4980	99.6	0.40
8	5000	100	0.00

**III- CALCULE DE LA COMPOSITION PAR LA METHODE DE
« DREUX- GORISSE »**

➤ DONNEES DE BASE :

Il est nécessaire de savoir :

- ❖ Résistance projetée du béton à 28 jours $R_n = 30MPa$.
- ❖ Caractéristiques physiques du sable :
 - Masse volumique.
 - Masse spécifique.
 - Module de finesse qui égale à 2.7
- ❖ Caractéristique technique des granulats
 - Dimension maximale de granulats ($D_{max} = 25$).
 - Masse volumique apparente et masse spécifique.
 - Les granulats concassés.
 - L'ouvrabilité désirée : $A = 5 cm$
 - La classe de ciment varie $R_{28} = 45MPa$.

➤ METHODE DE CALCUL

❖ Dosage en ciment :

$$R_{28} = R_n + (15\%R_n) = 30 + 15\% = 34,5 \text{ MPa.}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{(R_{28} + (0,5 \cdot G \cdot R_{C28}))}{G \cdot R_{C28}}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{34,5 + (0,5 \times 0,45 \times 45)}{0,5 \times 45}$$

$$\frac{C}{E} = 2,03$$

$Aff = 5 \text{ cm}$ (Affaissement au cône d'abrams).

D'après le graphe $C/E = f(Aff)$ on trouve :

➤ Le dosage en ciment

$$C = 400 \text{ Kg/m}^3$$

➤ Le dosage en eau :

$$E = \frac{C}{2,03} E = 197,04 \text{ l}$$

➤ Coefficient de compacité δ :

Dosage de ciment 400 et le sable et gravier concassés

$$\delta = 0,835$$

$$\delta_{\text{corrigé}} = 0,835 - 0,03 = 0,805$$

La courbe (O A B) :

$D_{\text{max}} = 25 \text{ mm}$: Donc on trouve X et Y comme suit :

$$x = \frac{D_{\text{max}}}{2} \Rightarrow x = 12,5 \text{ mm}$$

$$K_s = 6MF - 15 = 6(2,7 + 67) - 15 \Rightarrow K_s = 1,2$$

$$y = 50 - \sqrt{25} \Rightarrow y = 43,8$$

D'après la courbe granulométrique, les dosages des granulats sont :

Sable 1 \longrightarrow 13%

Sable 2 \longrightarrow 33%

Gravier 3/8 \longrightarrow 9%

Gravier 8/15 \longrightarrow 20%

Gravier 15/25 \longrightarrow 25%

➤ Le volume total du béton est :

$$1000 \times \delta = 1000 \times 0.805 \Rightarrow V_t = 805 \text{ l.}$$

➤ Le volume total du ciment est :

$$V_c = \frac{mc}{V_{Mc}} = \frac{400}{3.1} \Rightarrow V_c = 129.03 \text{ l.}$$

➤ Le volume total des granulats est :

$$V_{TGr} = 805 - 129.03 \Rightarrow V_{TGr} = 675.98 \text{ l.}$$

Donc on trouve :

$$V_{s1} = 675.98 \times 0.13 \Rightarrow V_s = 88.53 \text{ l.}$$

$$V_{s2} = 675.98 \times 0.33 \Rightarrow V_{s2} = 223.073 \text{ l}$$

$$V_{3/8} = 675.98 \times 0.9 \Rightarrow V_{3/8} = 60.83 \text{ l.}$$

$$V_{8/15} = 675.98 \times 0.2 \Rightarrow V_{8/15} = 135.196 \text{ l.}$$

$$V_{15/25} = 675.980 \times 0.25 \Rightarrow V_{15/25} = 168.49 \text{ l.}$$

➤ Les masses granulats :

❖ Sable :

$$M_{s0/4} = V_s \times M_{vs} = 194.66 \times 2.62$$

$$M_s = 510.02 \text{ Kg.}$$

$$M_{s0/1} = V_s \times M_{vs} = 113.98 \times 2.63$$

$$M_s = 299.66Kg.$$

❖ Gravier $_{3/8}$:

$$M_{3/8} = V_{G8/15} \times M_{VG3/8} = 60.83 \times 2.64$$

$$M_{G3/8} = 159.42Kg.$$

❖ Gravier $_{8/15}$:

$$M_{G8/15} = V_{G8/15} \times M_{VG8/15} = 134.19 \times 2.63$$

$$M_{G8/15} = 352.93Kg.$$

❖ Gravier $_{15/25}$:

$$M_{G15/25} = V_{G15/25} \times M_{VG15/25} = 167.74 \times 2.63$$

$$M_{G15/25} = 441.16Kg.$$

➤ Détermination pratique du rapport E/C du béton témoin :

Cette caractéristique est très importante pour la conception des compositions des bétons, elle est obtenue en fonction de l'affaissement au cône d'abrams.

Le dosage en ciment est égal : $C=400Kg/m^3$.

Le dosage en eau est égal : $E=197.04 L$.

$$\text{DONC : } \frac{E}{C} = \frac{197.04}{400} = 0.50$$

Les quantités des constituants pour $1m^3$ du béton sont résumées dans le tableau suivant :

« Tableau N° 15» les quantités des constituants utilisés.

Type	Dosage en eau (L)	Dosage en ciment (Kg)	Quantité des granulats (Kg)				
			S (0/1)	S (0/4)	3/8	8/15	15/25
Béton témoin	197.04	400	299.77	510.02	159.42	352.93	441.16

Les quantités des constituants pour 34 l de béton sont résumées dans le tableau suivant :

Composants	poids en kg
GRAVIER 15/25	15.0
GRAVIER 8/15	12.0
GRAVILLON 3/8	5.4
SABLE LAVE	19.6
SABLE (Correcteur)	7.9
CIMENT	13.6
DOSAGE EN EAU	5.4

IV- LES EPROUVETTES POUR ESSAIS DES BETONS

IV-1- PREPARATION DES EPROUVETTES

➤ Essai de compression :

Pour effectuer cet essai, on a préparé quatre éprouvettes cylindriques (16×32) (cm), pour chaque âge (7,28 jours) dans le but de prendre une valeur moyenne.

IV-2- CONSERVATION DES EPROUVETTES

Les éprouvettes préparées auparavant sont immergées dans l'eau juste après le démoulage à une température de 20 °c.

Cette opération est effectuée pour éviter l'évaporation d'eau au cours de la phase de prise du ciment et assurer le bon déroulement du durcissement, afin de maintenir les caractéristiques réelles du béton.

IV-3- REALISATION DES ESSAIS SUR LES EPROUVETTES

➤ Résistance à la compression :

▪ Surfaçage :

Avant d'entamer l'essai, il est recommandé de préparer les éprouvettes en effectuant un surfaçage des deux bases de l'éprouvette selon les recommandations suivantes.

❖ Avant le surfaçage, s'assurer que l'extrémité de l'éprouvette à surfacier et qu'elle est propre de toutes particules étrangères.

- ❖ Le surfaçage doit être mince que possible ($< 5m$) .
- ❖ Les mortiers de surfaçage à base de soufre sont convenables, un sable fin siliceux peut être ajouté à part égale avec le soufre.

- ❖ Chauffer le mélange à la température recommandée.
- ❖ Faire descendre verticalement l'une des extrémités de l'éprouvette dans un mortier de soufre en fusion préalablement déversé sur un plateau moule horizontale.
- ❖ Laisser durcir le mélange avant de répéter cette opération pour l'autre extrémité.
- ❖ Utiliser une hausse de surfaçage pour assurer que les deux surfaces sont parallèles est de l'huile minérale de démoulage comme démoulant pour les plateaux /moules.

➤ **Principe de l'essai :**

Les éprouvettes sont chargées jusqu' à rupture dans une machine pour essai de compression.

IV-4- REPARATION ET POSITIONNEMENT DES EPROUVETTES

Avant de passer à l'action d'écrasement, il faut tenir compte des recommandations suivantes :

- ❖ Essuyer toute humidité excessive de la surface d'éprouvette avant de la positionner dans la machine d'essai.
- ❖ Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés et toutes particules ou corps étrangers retirés des surfaces de l'éprouvette qui seront en contact avec eux.
- ❖ Centrer l'éprouvette sur le plateau avec une précision de $\pm 1\%$ de la dimension du diamètre de l'éprouvette cylindrique.

➤ **Expression des résultats :**

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$R_c = F/S$$

R_c : Est la résistance en compression exprimée en *MPa*.

F : Est la charge maximale exprimée en *MPa*.

S : Est l'air de la section sur laquelle la force de compression est Appliquée, elle est exprimée en mm^2 .

V- METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

➤ Fabrication des bétons :

Le béton témoin et les bétons avec adjuvants sont élaborés suivant la composition calculée précédemment.

Partie 1 : Caractéristiques du béton témoin :

« Tableau N° 16 » résultats de l'affaissement obtenu (béton témoin).

Caractéristique	E/C	Affaissement (cm)
Béton témoin	0,50	5

« Tableau N° 17 » résultats de la résistance à la compression obtenu (B,T).

Caractéristique	Résistance mécanique en MPa	
	Résistance à la compression	
Age	7 J	28 J
Béton témoin	24,65	33.25

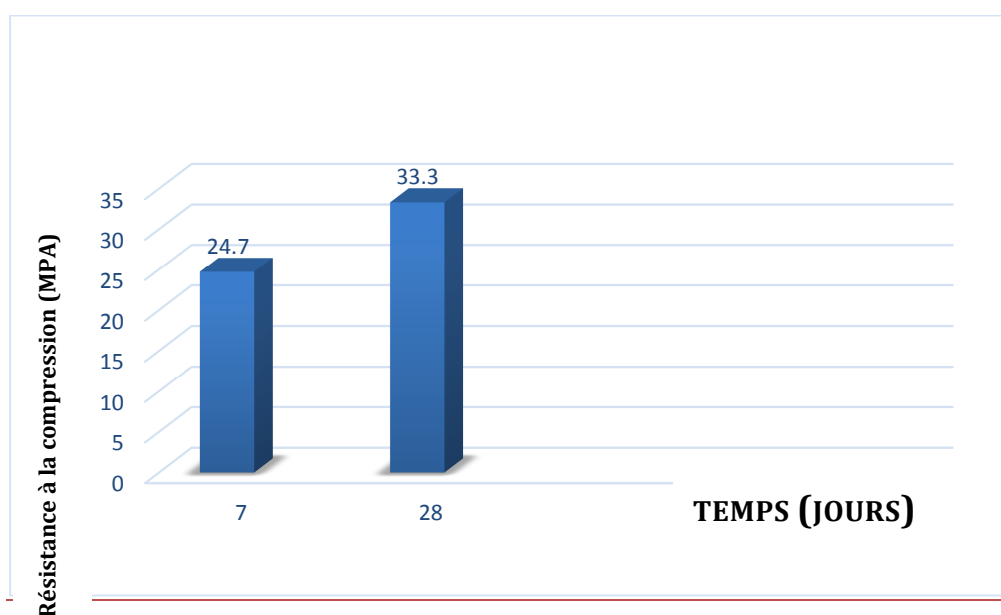


Fig. 1/ évolution de la résistance à la compression du béton témoin en fonction du temps.

Partie 2 : Caractéristique du béton témoin additionné avec des pourcentages variables :(SUPER PLASTIFIANT)

A- tempo 12

- ❖ Les pourcentages :(0.5% - 0.9% - 1.3%) sont calculer par rapport au poids du ciment
- ❖ Notons aussi que toutes les gâches sont confectionnées avec une vibration normale et un bon serrage.
- ❖

« Tableau N° 18 » résultats de l’affaissement obtenu(TEMPO 12).

Caractéristiques	% adjuvants	Affaissement (<i>cm</i>)	<i>E/C</i>
Béton adjuvantes 1	0.5%	9	0,44
Béton adjuvantes 2	0.9%	14	
Béton adjuvantes 3	1.3%	18	

« Tableau N° 19 »résultats de la résistance à la compression obtenu(TEMPO12).

Caractéristiques	Résistance mécanique en (<i>MPa</i>)	
	Résistance à la compression	
Age	7 Jours	28 Jours
Béton adjuvant (0.5%)	25.07	32
Béton adjuvantes (0.9%)	28.47	37.05
Béton adjuvantes (1.3%)	31.65	42.2

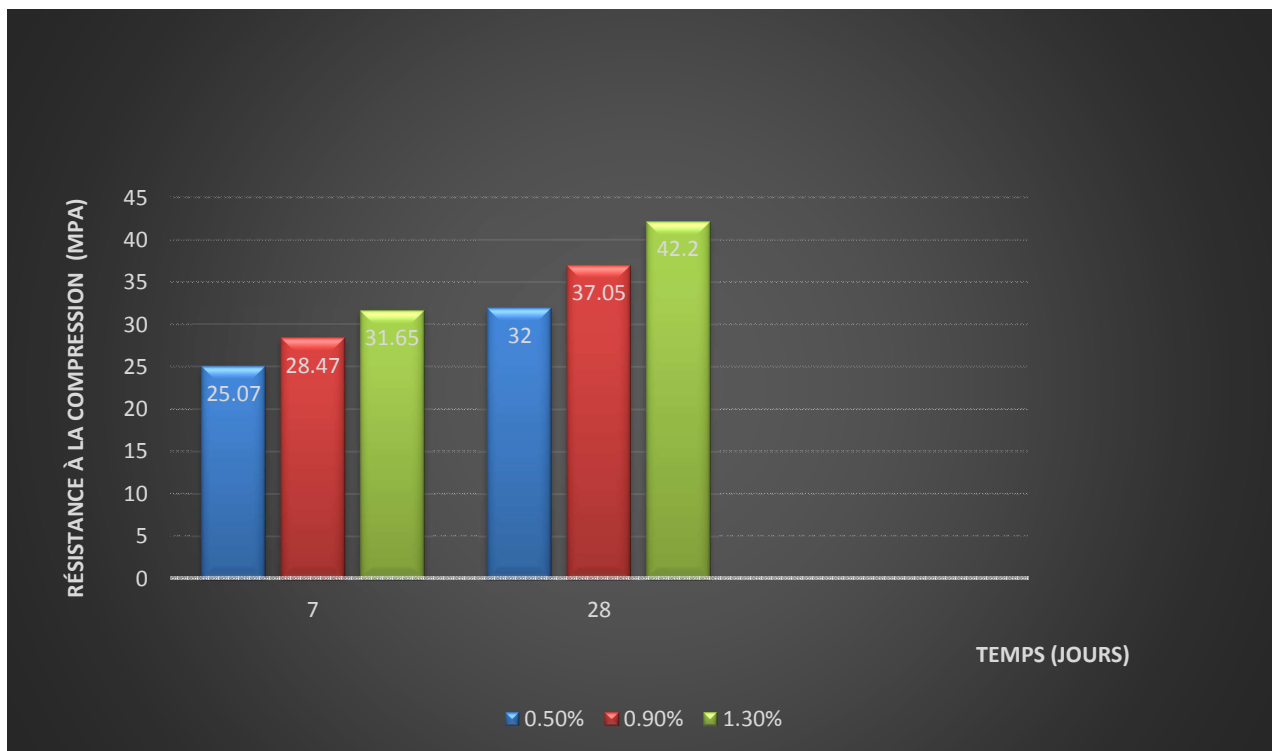


Fig2 : Evolution de la résistance à la compression en fonction du temps.

Partie 3 : Caractéristiques du béton témoin additionné avec des pourcentages variables : (super plastifiant)

B- SIKA FLUIDE 300

- ❖ Les pourcentages (0.5% - 0.9% - 1.3%) sont calculés par rapport au poids du ciment
- ❖ Notons aussi que toutes les gâches sont confectionnées avec une vibration normale et un bon serrage.

« **Tableau N° : 20** » résultats de l’affaissement obtenu(SIKA FLUIDE300).

Caractéristiques	% adjuvants	Affaissement (cm)	<i>E / C</i>
Béton adjuvante 1	0.5%	9	0,44
Béton adjuvante 2	0.9%	13	
Béton adjuvante 3	1.3%	16	

« Tableau N° : 21 » résultats de la résistance à la compression obtenu (SIKA FLUIDE300).

Caractéristiques	Résistance mécanique en (MPa)	
	Résistance à la compression	
Age	7 Jours	28 Jours
Béton adjuvante (0.5%)	22.05	29.40
Béton adjuvante(0.9%)	26.77	35.70
Béton adjuvante(1.3%)	28.45	39.07

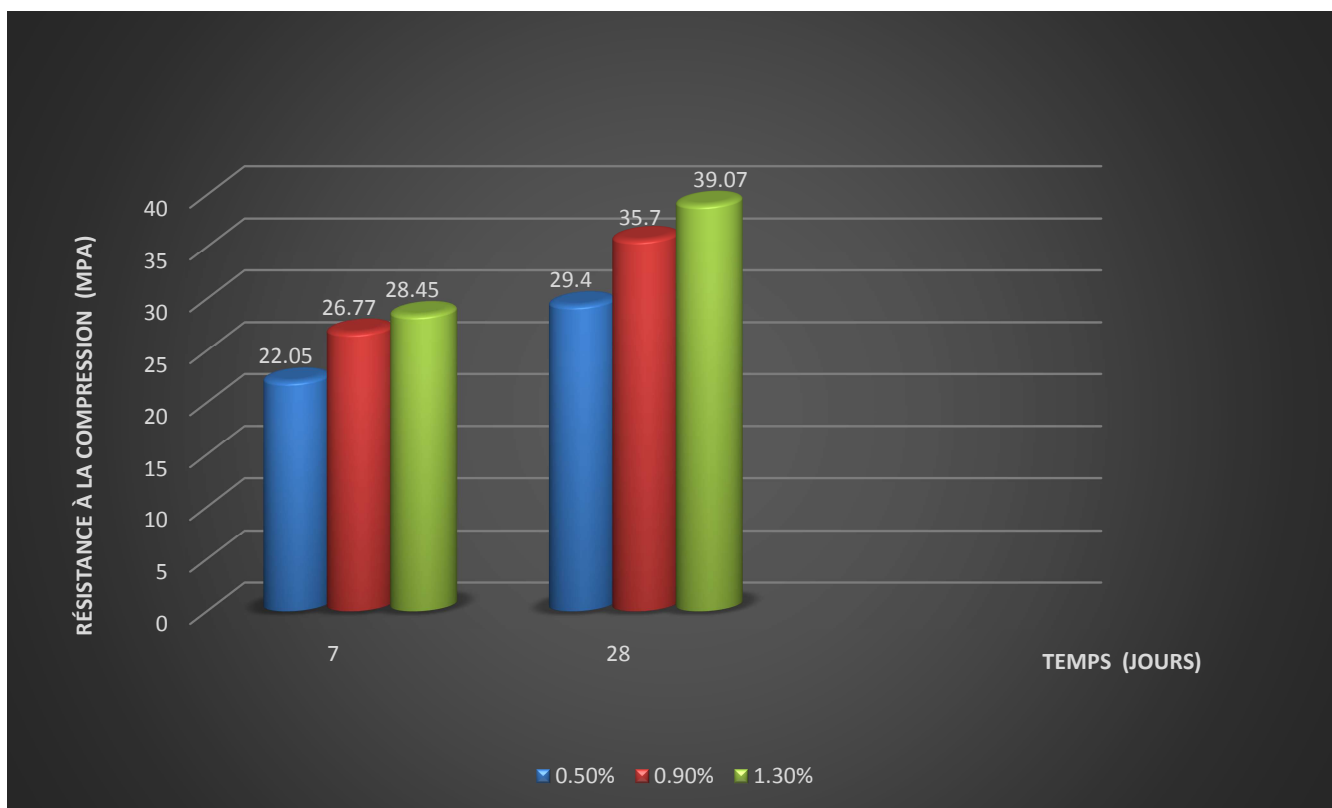


Fig3 : Evolution de la résistance mécanique en fonction du temps.

Partie 4 :

1- étude comparatifs de la résistance mécanique en fonction de la

Nature de l'adjuvant utilisé :

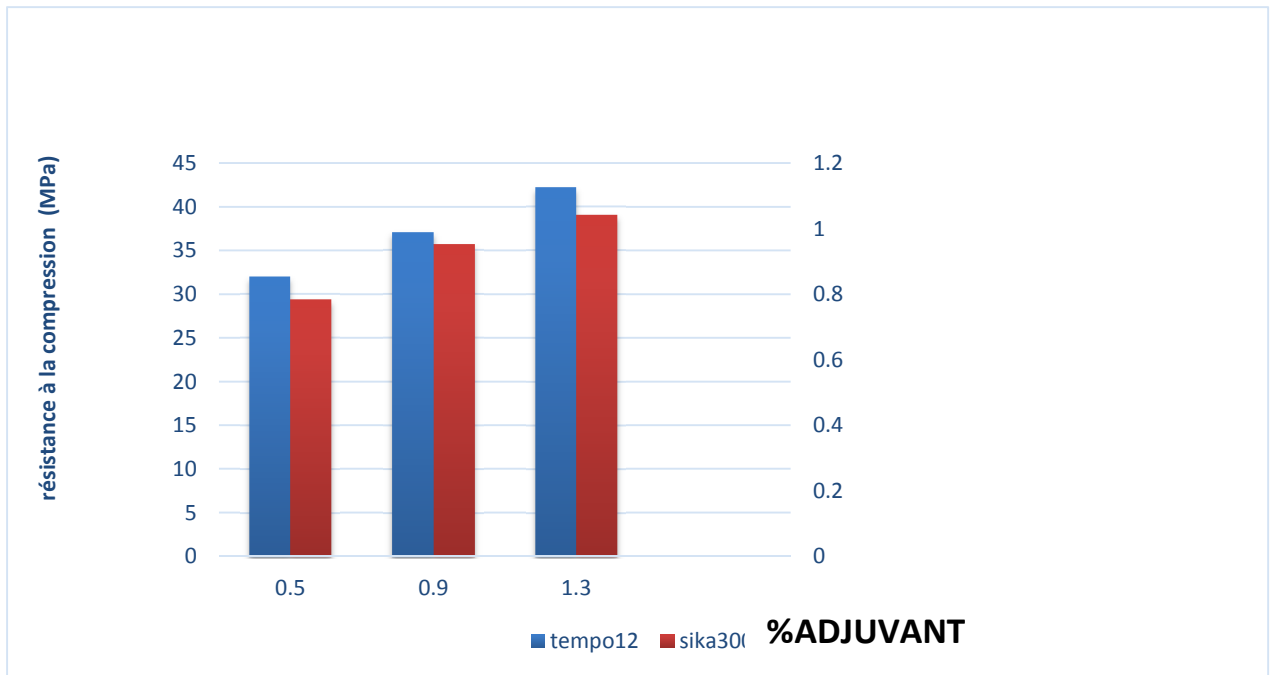


Fig. 4 histogramme de la résistance à la compression à 28 jours.

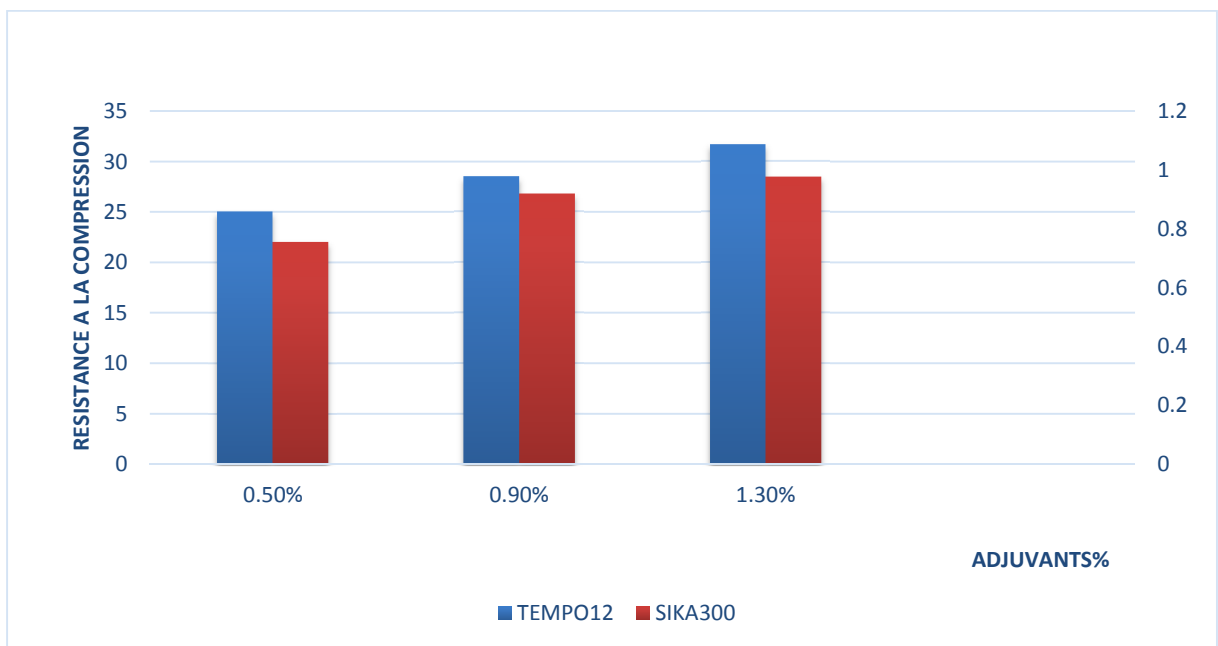


Fig. 5 histogramme de la résistance à la compression à 7 jours.

Conclusion :

On conclue que la résistance à la compression à 28 jours d'un béton avec un adjuvant tempo 12 et un béton sika fluid300 que le béton tempo12 donne une meilleure résistance par rapport au sika fluid300.

- Tempo12 RC = 42.20 MPA.
- Sika fluide 300 RC = 39.07 MPA.

On remarque que 1.3% d'adjuvant permet l'obtention de la meilleure résistance.

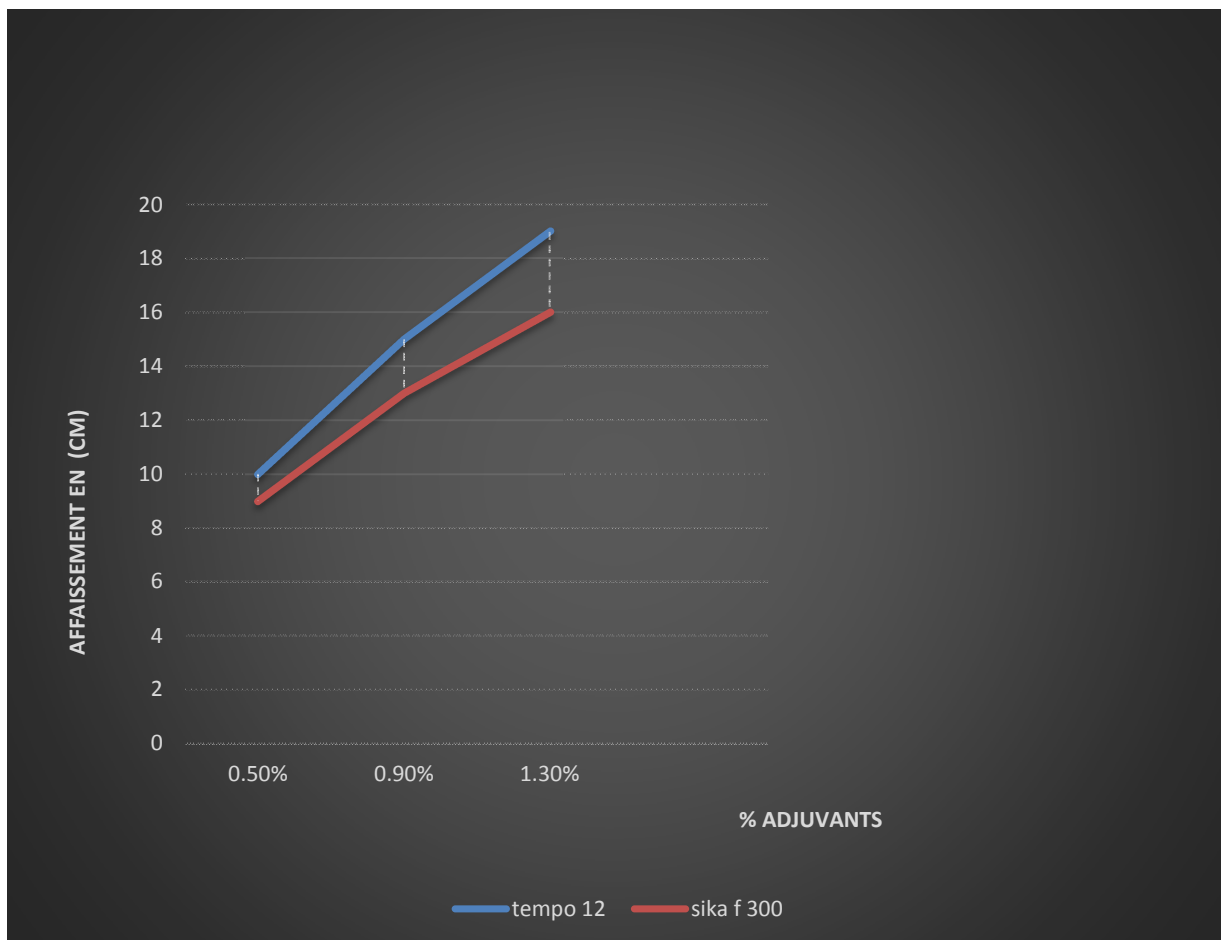
2- étude de l'ouvrabilité en fonction du teneur en adjuvant :

FIG 6 : courbe de l'influence de la teneur des adjuvants sur l'affaissement du béton.

Remarque :

Concernant l'ouvrabilité :

Si on fait une comparaison entre les propriétés et l'effet de chaque type d'adjuvant, on remarque que les deux formulations donnent les mêmes résultats.

- augmentation de la maniabilité.
- réduction d'eau.
- facilité la mise en œuvre du béton.

2- Résistance à la traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices entre 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.

« Tableau N° 22 » résultats de la résistance à la traction obtenu.

Types de Béton	Résistance mécanique à la traction (MPa)		
		7 jours	28 jours
Béton			
Témoin		1.77	2.53
Béton adjuvantes avec Tempo12	0.5 %	1.7	3.12
	0.9%	2.01	3.66
	1.3%	2.3	4.4
Béton adjuvantes avec Sika fluide 300	0.5%	1.2	3.5
	0.9%	1.7	4.05
	1.3%	2.08	3.87

Conclusion générale :

Le but de notre projet est L'étude de l'influence des adjuvants sur les propriétés rhéo-mécaniques du béton.

Notre béton témoin fabriqué à partir du sable de rivière de Boussaâda, de gravier concassé de carrière de B-B- A et un d0un ciment de classe 42.5 (MATIN) avec dosage de 400 Kg/m³, possède de bonnes résistances.

Concernant le béton à base d'adjuvant TEMPO12 ET SIKA FLUIDE 300, avec un pourcentage de 1.3%, il présente de bons affaissements et de bonnes résistances pour les deux formulations.

Le tempo12 donne une résistance à 7 jours, de 31.65 MPA, et de 42.2 MPA, à 28 jours.

Le Sika fluide 300 donne une résistance à 7 jours, de 28.45 et de 39.07 MPA, à 28 jours. Donc, la présence des adjuvants est nécessaire à la formulation des bétons car il améliore la qualité et la durabilité du béton.

On remarque aussi que le pourcentage d'adjuvants influe sur les propriétés rhéologiques des bétons, telle que l'ouvrabilité.

ANNEXE

CHAPITRE IV

LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES GRANULATS

I- MASSES VOLUMIQUES : NFP 18 – 554

I-1- Définition :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps, comme on distingue le volume absolu et le volume apparent :

I-2- Masse volumique absolu :

C'est la masse de l'unité de volume absolu du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides.

I-3- masse volumique apparent :

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps, et les vides qu'elle contient.

I-2-LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE : NFP 18- 554

➤ Généralité :

Volume d'un liquide qui déplace l'introduction de ce corps. Pour des raisons de commodité, de sécurité et d'économie, le liquide employé est aussi peuvent que possible l'eau. Certains corps pourtant, tels que les ciments, conduisent à utiliser un autre liquide.

- Granulats et corps ne réagissant pas avec l'eau.
- Liants et corps réagissant avec l'eau.

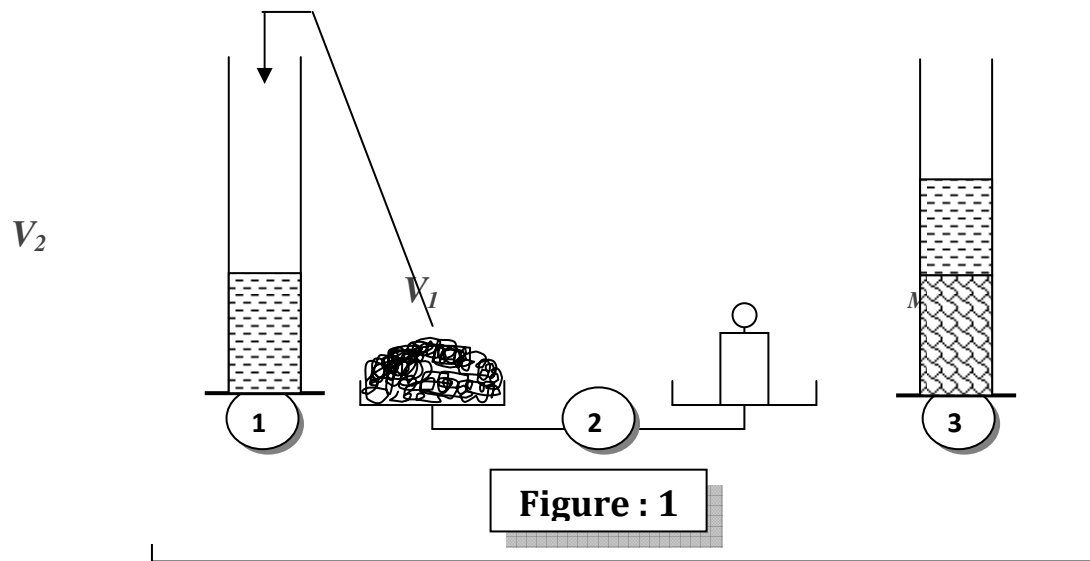
Il faut remarquer que l'instrument et procédés utilisés pour les liants conduisent à des résultats plus précis, et peuvent aussi bien être utilisés avec d'autres corps, dans l'appareil. Nous nous limiterons à 4 méthodes de base,

I-2-1-Méthode de l'éprouvette graduée :

C'est la plus simple :

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume « V_1 » d'eau (Figure : 1).
- Peser une masse « M » du corps (de l'ordre de 300g), et l'introduire dans l'éprouvette. Bien éliminer les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume « V_2 ».

- Le volume absolu est $V = V_2 - V_1$, et la masse volumique absolue : $\frac{M}{V_2 - V_1}$



I-2-2- Equivalent de sable : NF P 18-598 :

Il s'agit de déceler la présence d'éléments fins dans un sable, et d'en caractériser l'importance par une valeur numérique. Essai simple et rapide, matière fragile, aisément réalisable à la carrière ou chantier.

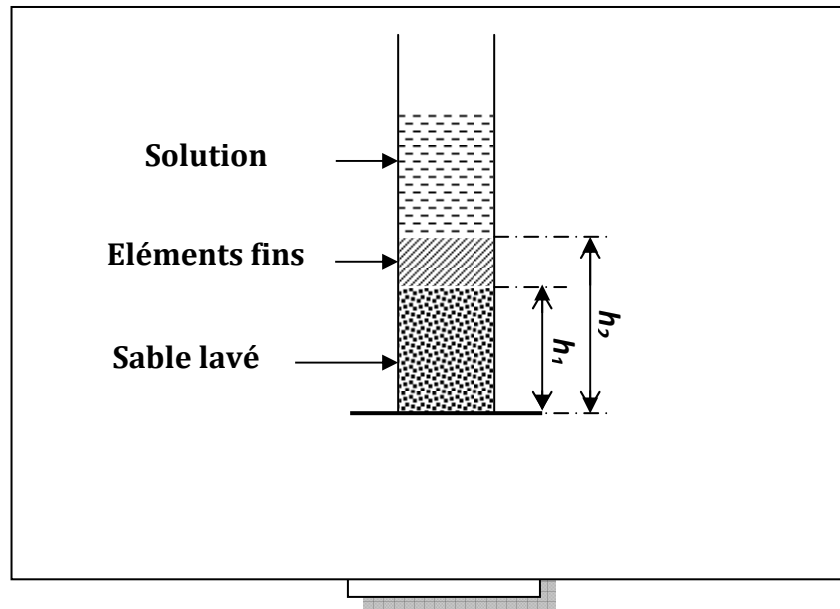
- **Principe :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est (figure : 2)
L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

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



Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston)

- **on distingue :**

- L'équivalent de sable visuel (ESV).
- L'équivalent de sable piston (ESP).

- **Préparation de l'échantillon :**

Il faut tamiser au tamis de 5mm, éliminer le refus et recueillir tout le tamisât. Tamiser à sec comporte beaucoup d'inconvénient. Il faut donc tamiser par voie humide, et laver le refus sur le tamis, au-dessus d'un récipient plus grand, on laissera ensuite décanter. C'est donc une opération relativement longue.

I-3-ESSAI DE LOS ANGELES: NF P18- 573

- **Principe :**

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6mm, produite en soumettant le matériau au choc de boulets normalisés dans la machine Los Angeles. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes granulaires. 4-6.3mm, 6.3-10mm, 10-14mm, 10-25mm, 16-31.5mm, 25-50mm, la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre. La classe 10-25mm doit contenir 60% de 10-16mm, la classe 16-31.5mm contient 60% de 16-25mm et la classe 25-50mm 60% de 25-40mm. Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1.6mm produits à la cour de l'essai, la résistance à la fragmentation par choc s'exprime par : $100 \frac{m}{M}$, cette quantité est appelée le coefficient Los Angeles du matériau (L_A).

- **Préparation de l'échantillon :**

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à une masse constante.
- La masse de l'échantillon pour l'essai sera de 5000g \pm 5g.

- **Mode opératoire :**

- Introduire avec précaution la charge de boulet correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour essai.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière 30 à 33 tr/min.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.
- Laver le refus au tamis de 1.6mm, égoutter et sécher à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus une fois séché, soit m_1 le résultat de la peser.

- **expression des résultats :**

Le coefficient Los Angles (L_A) est par définition le rapport $100 \frac{m}{5000}$

Où :

$m = 5000 - m_1$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm, en gramme.

I-4-ESSAI MICRO- DEVAL : NF P 18-572

- **principe :**

L'essai consiste à introduire un échantillon en présence d'une charge abrasive dans des cylindres en rotation pour mesurer à la fin l'usure des granulats.

- **Préparation de l'échantillon :**

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires types Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence de l'eau.

Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante.

Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.

La masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ± 2g.

- **mode opératoire :**

Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive puis les 500g de matériau préparé. La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après.

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 - 6.3	2000 ± 5
6.3 – 10	4000 ± 5
10 – 14	5000 ± 5

Pour effectuer un essai en présence d'eau on ajoutera 2.5 litre.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) tr/min pendant 2 heures ou 12000 tr.

- Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat. Laver soigneusement l'intérieur de cylindre.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive.
- Sécher le refus à 1.6mm à 105°C jusqu'à masse constante.
- Peser ce refus au gramme près ; soit m_0 le résultat de la pesée.
- **Expression des résultats :**

Le coefficient Micro Deval est par définition le rapport : $100 \frac{m}{500}$

Où :

$m = 500 - m_0$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm. Le coefficient Micro Deval (MDE) = $100 \frac{500 - m_0}{500}$

II- RECTIFICATION DES EXTREMITES DES EPROUVETTES

Conformément à la norme NF P 18-406, l'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. En effet, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne serait pas assuré de la planéité des surfaces au contact et de leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette. La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette. Pour parvenir à ce résultat deux méthodes peuvent être employées : le surfaçage au soufre et la rectification par usinage des extrémités.

Le surfaçage au soufre est décrit dans la norme NF P 18-416. Il consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant les deux exigences : planéité et perpendicularité aux génératrices. La planéité est assurée de la façon suivante : le mélange soufre, porté à une température de $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, est liquéfié et versé sur une platine dont le fond a été rectifié.

La perpendicularité est obtenue grâce à un dispositif de guidage qui maintient les génératrices de l'éprouvette perpendiculaires au fond rectifié du moule.

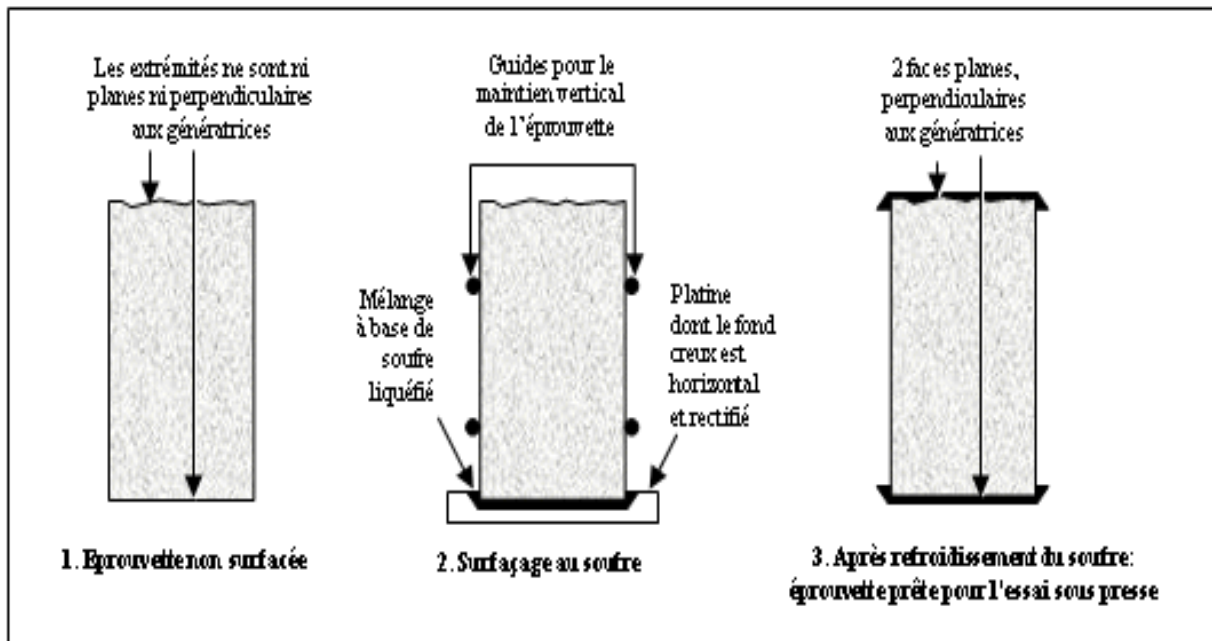


figure3: Principe du surfaçage au soufre

L'éprouvette maintenue par le dispositif de guidage est descendue sur le soufre liquéfié. Quand, après refroidissement, le soufre s'est solidifié, l'éprouvette (à laquelle adhère alors la galette de soufre) est désolidarisée de la platine et il a procédé au surfaçage de la deuxième extrémité. Pour les éprouvettes dont la résistance à la compression ne dépasse pas 50Mpa, le surfaçage peut se faire avec un mélange de 60% (en masse) de fleur de soufre et 40% de sable fin de granularité inférieure à 0,5mm.

Au-delà, et jusqu'à 80 MPa, il faudra utiliser un mélange soufré spécialement conçu pour les Bétons Hautes Performances.

Pour des bétons dont la résistance est supérieure, la rectification exigera des moyens matériels plus importants : une rectifieuse équipée d'une meule diamantée. L'éprouvette est alors usinée de manière à rendre les extrémités parfaitement perpendiculaires aux génératrices.

- **Conduite de l'essai de rupture**

L'éprouvette, une fois rectifiée, doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. Pour des éprouvettes 11×22 ou 16×32, cela signifie une précision millimétrique qui ne pourra pas être obtenue sans l'emploi d'un gabarit de centrage prenant appui sur l'éprouvette (et non sur le produit de surfaçage),

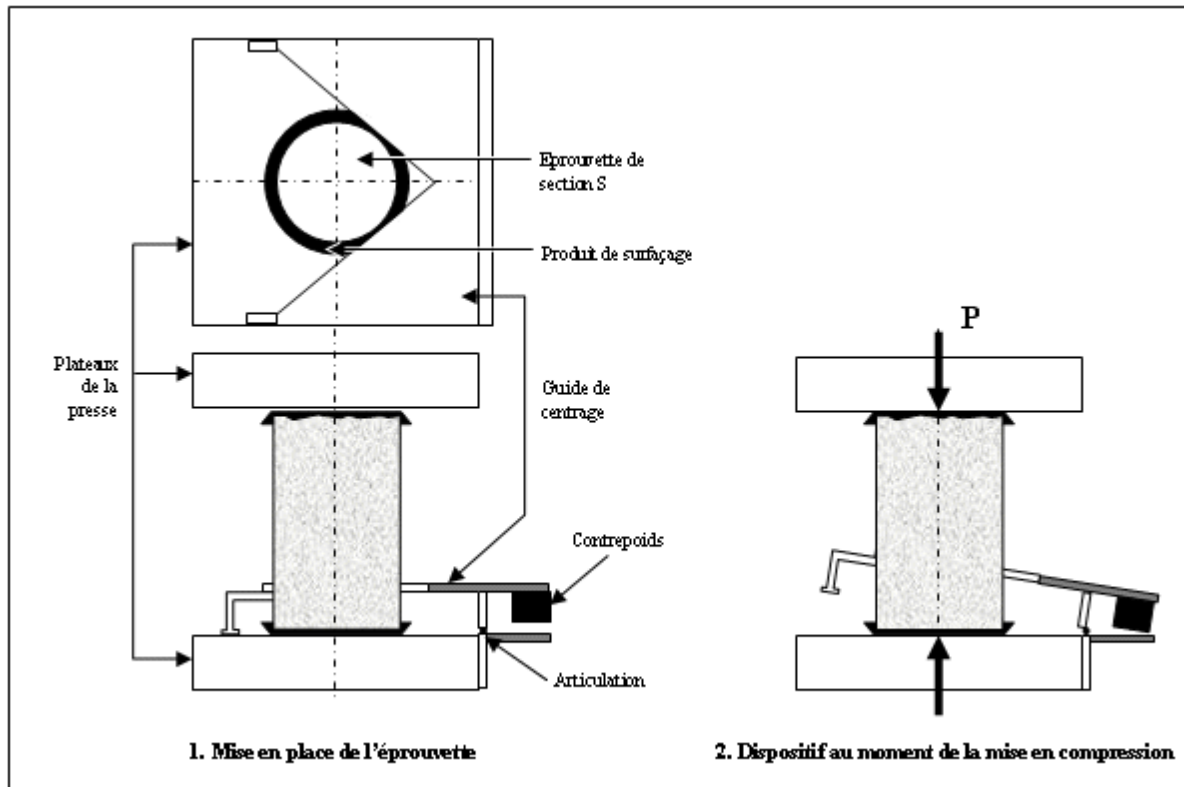


figure4 : Exemple de dispositif de centrage de l'éprouvette sur la presse

La mise en charge doit être effectuée à raison de 0,5 MPa/s avec une tolérance de 0,2 MPa/s. Pour des éprouvettes 11×12 cela signifie une montée en charge de 5KN/s±2KN/s et pour des éprouvettes 16 × 32 de 10 KN/s ±4 KN/s.

La charge de rupture, P, est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. Soit S la section orthogonale de l'éprouvette ; la résistance, F_c est exprimée en MPa à 0,5Mpa près et a pour expression :

$$f_c = \frac{P}{S}$$

Dans la relation ci-dessus F_c est directement obtenue en MPa si P est exprimée en méga newton (MN) et S en m^2

- **Particularités de la rupture en compression**

Pour des résistances supérieures à 60Mpa, et suivantes la presse utilisée, la rupture peut être brutale et il est bon d'équiper la presse d'un système de protection pour se protéger des éclats éventuels.

Dans ce type de rupture, deux cônes apparaissent aux extrémités de l'éprouvette rompue. En effet, la pression exercée par les plateaux de la presse à la jonction avec l'éprouvette gêne les déformations transversales dans cette zone. Dans la partie centrale, la formation transversale est libre ; elle résulte des contraintes de traction (symbolisées par les flèches notées t perpendiculaires à la compression (et à la fissuration)).

Ce sont ces contraintes de traction qui aboutissent dans la zone centrale à la fissuration longitudinale de l'éprouvette, puis à sa ruine. Les zones extrêmes, protégées par le frettage créé par les plateaux, ne sont pas détruites

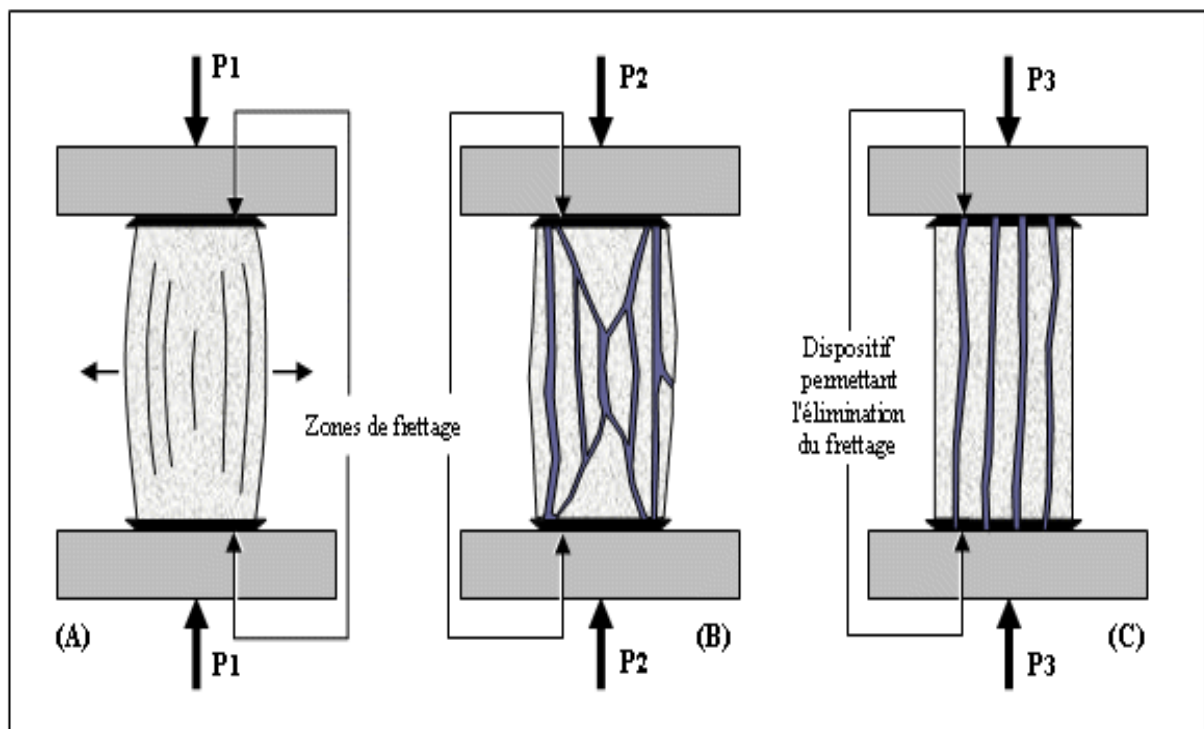


figure5 : Mode de rupture des éprouvettes cylindriques en compression

Le frittage peut être limité en graissant les zones de jonction plateaux/éprouvettes ou en y interposant des appuis en téflon. La rupture est alors du type de celle indiquée sur la figure 6.5.3 c. Elle se produit pour une charge (P_3) habituellement plus faible que celle obtenue dans le cas général (P_2) : en protégeant ses extrémités de l'éclatement, le frettage permet à l'éprouvette d'encaisser des chargements légèrement plus importants.

BIBLIOGRAPHIE

[1] www.google.com [Nguyen T.L.H, 2007] (histoire du béton)

[2] DREAUX .G NOUVEAU GUIDE DU BETON ED.EYROLLES.
PARIS(1998

[3] ADAM-M NEVILLE «PROPRIETES DU BETON»

[4] MEMOIRE FIN ETUDE «AZLI SALAH».

[5] PORON J .OLLIVIER J-P (DEFINITION.LES BETONS-BASES ET DONNES)

[6] DOSSIER TECHNIQUE DE LA SOCIETE ALGERIENNEE (SIKA)

[7] JOURNEE D'INFORMATION «GRANITEX»
