

Institut Spécialisé de **Technologie Appliquée (ISTA)**

RESUME DE THEORIE

MODULE 16

ESSAIS LABO

BETON

SECTEUR : BTP

**SPECIALITE : TECHNICIEN SPECIALISE GROS
OEUVRE**

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE

Essais sur les bétons durcis



Essais et contrôle sur les bétons frais



REALISE PAR :  **ABDELOUAHID EL ATMIOUI INGENIEUR .BAT.GENIE CIVIL**

**ISTA LAAYOUNE**Spécialité : TS GROS ŒUVRE
Niveau : TECHNICIEN SPECIALISE
2^{ème} Année /Année Scolaire 2008-2009

Ce cours est réalisé pour répondre aux besoins suivants :

**PRECISIONS SUR LE
COMPORTEMENT
ATTENDU**

- A. Connaître les principales propriétés du béton.
- B. Avoir des connaissances sur l'équipement d'un laboratoire béton.
- C. Utiliser les appareils à réaliser les essais sur le béton.
- D- Utiliser les résultats obtenus d'essais.

**CRITERES PARTICULIERS
DE
PERFORMANCE**

- Analyser les composantes.
- Respecter les normes de dosage
- Respecter les résistances
- Respecter les normes d'utilisation
- Analyser les fonctions d'appareil
- Analyser les essais.
- Savoir les buts des essais
- Savoirs décrire l'essai.
- Analyser les résultats des essais.
- Effectuer les calculs, les corrèles selon les essais.

Introduction

Historiquement Le béton a une importance stratégique, sa recette est un secret militaire gardé confidentiel par les Cimmériens, les Phéniciens et les Égyptiens. Permettant la construction de ports artificiels, de forteresses, de temples et de monuments commémoratifs, il se répand dans les colonies grecques grâce aux conquêtes d'Alexandre le Grand, puis dans l'empire romain, après son alliance avec Neapolis avant de tomber en désuétude à la chute de celui-ci.

Redécouvert depuis le 19^{ème} siècle notamment grâce à Louis Vicat, le béton de ciment est, à l'heure actuelle, le matériau de construction le plus utilisé.

La réaction chimique qui permet au **béton de ciment** de *faire prise* est assez lente : occupe 75 % de la résistance mécanique finale au bout de 7 jours. La vitesse de durcissement du béton peut cependant être affectée par la nature du ciment utilisé et par la température du matériau lors de son durcissement. La valeur prise comme référence dans les calculs de résistance est celle obtenue à 28 jours (80 % de la résistance finale). Le délai de 28 jours a été choisi afin de pouvoir contrôler la résistance 4 semaines après avoir coulé le béton.

Il est possible de modifier la vitesse de prise en incorporant au béton frais des adjuvants (additifs) ou en utilisant un ciment prompt (ciment Vicat). Il existe d'autres types d'adjuvants qui permettent de modifier certaines propriétés physico-chimiques des bétons. On peut, par exemple, augmenter la fluidité du béton pour faciliter sa mise en œuvre en utilisant des *plastifiants*, ou maîtriser la quantité d'air incluse avec un *entraîneur d'air*.

• Béton aggloméré

L'église Sainte-Marguerite au Vésinet réalisée en 1855 par l'architecte Boileau suivant le procédé Coignet de construction de béton aggloméré, fut le premier bâtiment non industriel réalisé en béton en France.

• Béton armé

Le béton armé a été inventé par Joseph Monier qui en a déposé les brevets dès 1870. On se reportera pour plus de précision au livre *Joseph Monier et la naissance du ciment armé* paru aux éditions du Linteau (Paris, 2001).

De façon intrinsèque, le béton de ciment présente une excellente résistance à la compression. En revanche, il a une faible résistance à la traction donc à la flexion. Aussi est-il nécessaire, lorsqu'un ouvrage en béton est prévu pour subir des sollicitations en traction ou en flexion (comme par exemple un plancher, un pont, une poutre...), d'y incorporer des armatures en acier destinées à s'opposer et à reprendre les contraintes de traction de l'ouvrage. Les armatures mises en œuvre peuvent être soit en *acier doux* (peu utilisés pour reprendre la traction pure, par définition l'acier doux n'a qu'une faible adhérence au béton, il reste donc utilisé pour les éléments travaillant essentiellement en flexion tel que les pylônes, les fûts, etc.) soit en *acier haute-adhérence* (aciers *HA* anciennement dénommés *TOR*). On parle alors de **béton armé**, matériau composite mis au point en 1886 par François Hennebique qui l'utilisa pour la construction en 1899 du premier pont civil en béton armé de France, le pont Camille-de-Hogues à Châtelleraut.

• Béton précontraint

Parfois, les sollicitations prévisibles sont telles que l'élasticité propre de l'acier ne suffit pas à assurer la sécurité de l'ouvrage. Aussi, a-t-on recours à des techniques spécifiques d'armature conduisant au

Béton précontraint.

En effet, le béton possède des propriétés mécaniques intéressantes en compression alors que la résistance en traction est limitée et provoque rapidement sa fissuration et sa rupture.

Il s'agit de techniques inventées par [Eugène Freyssinet](#) en [1928](#), qui consistent à tendre (comme des [ressorts](#)) les aciers constituant les armatures du béton, et donc à comprimer, au repos, ce dernier. Ainsi, lorsque la structure est sollicitée, ces armatures s'allongent et le béton a tendance à se *décompresser* sans toutefois se mettre en traction, puisqu'il était déjà en partie comprimé.

Selon que cette tension appliquée aux armatures (appelé câble de pré-contrainte ou toron de pré-contrainte) est effectuée avant la prise complète du béton ou postérieurement à celle-ci, on distingue la *précontrainte par pré-tension* et la *précontrainte par post-tension*.

- Dans la *pré-tension* (le plus souvent utilisée en bâtiment), les armatures sont mises en tension avant la prise du béton. Elles sont ensuite relâchées, mettant ainsi le béton en compression par simple effet d'adhérence. Cette technique ne permet pas d'atteindre des valeurs de précontrainte aussi élevées qu'en post-tension.
- La *post-tension* consiste à disposer les câbles de précontrainte dans des gaines incorporées au béton. Après la prise du béton, les câbles sont tendus au moyen de vérins de manière à comprimer l'ouvrage au repos. Cette technique, relativement complexe, est généralement réservée aux grands ouvrages (ponts) puisqu'elle nécessite la mise en œuvre d'encombrantes « pièces d'about » (dispositifs mis en place de part et d'autre de l'ouvrage et permettant la mise en tension des câbles).

Dès lors la section de béton est uniformément comprimée (selon la position des câbles il apparaît même une contre-flèche à vide). Une fois soumis à la charge maximale, la précontrainte en fibre inférieure sera presque annulée par la tension de charge, alors que dans la partie supérieure la compression sera largement plus importante que dans une poutre en béton armé classique.

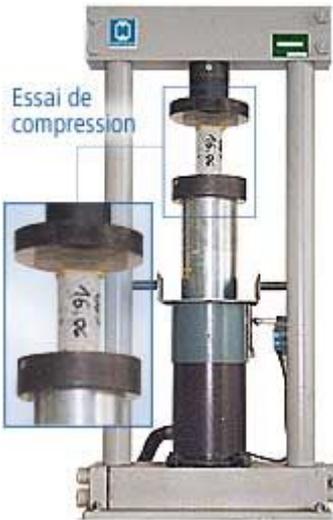
• Autres techniques de renforcement

On peut améliorer la résistance mécanique (post-fissuration) du béton en y incorporant des fibres (dosages traditionnels de l'ordre de 600 à 1200 g/m³). L'incorporation de celles-ci dans le béton rend ce dernier davantage ductile (moins fragile). Différents types de fibre peuvent être utilisés avec des propriétés spécifiques. C'est surtout le rapport entre la longueur et le diamètre des fibres (élancement) qui aura une influence sur les performances finales du béton fibré. On obtient ainsi un « béton fibré », souvent mis en œuvre par projection (tunnels) ou couramment utilisé pour les dallages industriels par exemple.

Une autre option est dite de « poudre réactive » à structure [fractale](#) : les grains qui le composent ont tous la même taille, et accessoirement la propriété de présenter la même forme à différentes échelles (fractale). Il s'agit toutefois d'une technique toujours au stade expérimental.

Vu l'importance du béton plusieurs essais labos son réalisés sur ce matériau, on distingue :

Essais sur bétons



Des essais sur béton durci

- Résistance en traction par fendage (*NF EN 12390-6*)
- Résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques ou cubiques (*NF EN 12390-3*)
- Masse volumique du béton durci (*NF EN 12390-7*)
- Résistance à la flexion des éprouvettes (*NF EN 12390-5*)
- Mesure de la vitesse sonique sur une éprouvette (*P18-418*)
- Essai de retrait sur prisme maintenu en conditions normalisées (*NF P18-427*)
- Mesure d'absorption d'eau sur une éprouvette (*ASTM*

C642-90)

- Détermination du module d'élasticité statique sur une éprouvette (*ISO 6784*)
- Détermination du dosage en fibres métalliques
- Mesure de porosité sur une éprouvette (*Recommandation TEGG/CE/86-079B et Recommandation AFREM*)
- Détermination de l'indice de rebondissement à l'aide d'un scléromètre (*NF EN 12504-2*)
- Recherche en dosage en ciment par la silice soluble

Des carottages in situ ou en laboratoire

- Carotte : prélèvement, examen et essais en compression (*NF EN 12504-1*)
- Carottage en atelier dans un bloc de béton projeté, béton ordinaire ou roche
- Essai de compression ou de fendage sur carotte de roche ou de béton
- Essai d'arrachement au dynamomètre de traction (*P 18-852*)

Des essais sur béton frais

- Détermination de la masse volumique du béton frais (*NF EN 12350-6*)
- Teneur en air : Méthode de la compressibilité (*NF EN 12350-7*)
- Détermination de la consistance du béton frais : Essai d'affaissement (*NF EN 12350-2*)
- Flow test ou mesure d'étalement à la table à chocs (*NF EN 12350-5*)
- Analyse granulométrique du béton frais et détermination de la teneur en eau
- Détermination du dosage en fibres métalliques

Sommaire	Page
INTRODUCTION	02
Chapitre N°1 : Essais sur les Bétons Frais	
I. GENERALITES 1 – Définitions : 2 – Formulation d'un béton 3 – Classification des bétons	06
II. LES COMPOSANTS DU BETON 1 – Les granulats 2 – Les Ciments	08
III. TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DU BETON 1 – L'acheminement du béton 2 – La mise en œuvre du béton 3 – Aspect et usages	13
IV. ETUDE EXPERIMENTAL DU BETON FRAI 1 - Résistance du béton frai 2 – Essais sur le Béton Frai	15
Chapitre N°2 : Essais sur le Béton Durcis	
I. Etude Théorique 1. Caractéristiques principales du béton durci.	21
II. Etude Expérimentale 1-Mesure de la résistance à la compression (NF P 18-406) 2- Mesure de la résistance à la traction (NF P 18-408)	23
Chapitre N°3 : Composition d'un Béton	
I. Généralités 1. Etude de la composition d'un béton	28
II. Méthode de Dreux 1. Hypothèses. 2. Composition en ciment et en eau. 3. Composition en Sable et en Gravillon. 4. Les Etapes de la méthode de Dreux.	33
Chapitre N°4 : Essais de Contrôle des Bétons	
I. Généralités 1°/ Contrôle des bétons frais. 2°/ La déformation des bétons.	37
II. Essais de contrôle sur les Bétons 1°/ Contrôles des bétons frais : 2°/ Contrôle des bétons durcis	41
Annexe	47

Chapitre N°1 : Essais sur les Bétons Frais

Le but de ce chapitre c'est d'étudier la maniabilité du béton frais qui dépend :

- de la quantité d'eau, d'avantage d'eau entraîne des bétons plus maniables, de résistance à assurer
- de la provenance des granulats, des granulats roulés donnent des bétons plus maniables que les granulats concassés, de résistance à vérifier.

Pour assurer cette maniabilité, il existe plusieurs essais tel que : Flow Test ; Vibré ou Maniabilimètre LCPC ; Slump test ; Compactage etc...

I. GENERALITES

1 – Définitions :

- **Le Béton** : est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant.

Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas un béton de ciment couramment utilisé. On peut aussi utiliser un liant hydrocarboné (bitume), ce qui conduit à la fabrication du béton bitumineux. Le *coulis* est un mélange très fluide de ciment et d'eau. Enfin, lorsque les agrégats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de mortier (sauf si l'on optimise la courbe granulaire du sable et dans ce cas on parle de béton de sable). Le béton frais associé à l'acier permet d'obtenir le béton armé qui est un matériau qui résiste bien aux efforts de compression et aux efforts de traction.



L'eau a un double rôle d'hydratation de la poudre de ciment et de facilitation de la mise en œuvre (ouvrabilité). En l'absence d'adjuvant plastifiant, la quantité d'eau est déterminée par la condition de mise en œuvre.

✚ **Remarque**

Les résistances mécaniques en compression obtenues classiquement sur éprouvettes cylindrique 16×32 cm, sont de l'ordre de :

- BFC : bétonnage fabriqué sur chantier : 25 à 35 MPa, peut parfois atteindre 50 MPa ;
- BPE : béton prêt à l'emploi, bétonnage soigné en usine (préfabrication) : 40 à 60 MPa ;
- BHP : béton hautes performances : jusqu'à 200 MPa ;
- BUHP : béton ultra hautes performances, en laboratoire : 500 MPa.

- BFUHP : béton fibré à ultra hautes performances

[La résistance en traction](#) est moindre avec des valeurs de l'ordre 2,1 à 2,7 MPa pour un béton de type BFC.

[La conductivité thermique](#) couramment utilisée est de $1,75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, à mi-chemin entre les matériaux métalliques et le bois.

2 – Formulation d'un béton

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment :

- la méthode Baron ;
- la méthode [Bolomey](#) ;
- la méthode de Féret ;
- la méthode de Faury ;
- la méthode [Dreux-Gorisse](#).

3 – Classification des bétons

Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en quatre groupes, selon sa [masse volumique](#) ρ :

- béton très lourd : $\rho > 2\,500 \text{ kg/m}^3$;
- béton lourd (béton courant) : ρ entre 1 800 et 2 500 kg/m^3 ;
- béton léger : $\rho = 500$ à 1 800 kg/m^3 ;
- béton très léger : $\rho < 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des [liants](#) :

- béton de ciment ;
- béton silicate ([Chaux](#))
- béton de gypse ([gypse](#)) ;
- béton asphalte.

Lorsque des fibres ([métalliques](#), [synthétiques](#) ou [minérales](#)) sont ajoutées, on distingue :

- les bétons renforcés de fibre (BRF) qui sont des bétons "classiques" qui contiennent des macro-fibres (diamètre $\sim 1 \text{ mm}$) dans proportion volumique allant de 0,5% à 2% ;
- les bétons fibrés à ultra haute performance (BFUHP) qui sont des bétons (BUHP) qui contiennent des micro-fibres (diamètre $> 50 \mu\text{m}$ ou un mélange de macro-fibres et de micro-fibres).

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

- Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2 300 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6 000 kg/m³ servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes *offshore* ou les ponts.

II. LES COMPOSANTS DU BETON

1 – Les granulats

Définition

On appelle granulats un ensemble de grains destinés à être agglomérés par un liant et à former un agrégat.

1.1. Types des granulats

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels.

○ Les granulats naturels

Origine minéralogique

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

Granulats roulés et granulats de carrières

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories:

1. Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion.
2. Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage ...

○ Les granulats artificiels

Sous-produits industriels, concassés ou non

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

La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m³ pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m³ pour le granulé.

Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.

Granulats allégés par expansion ou frittage

Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les grains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

Les granulats très légers

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé).

Très légers - 20 à 100 kg/m³ - ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³.

On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers: blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants.

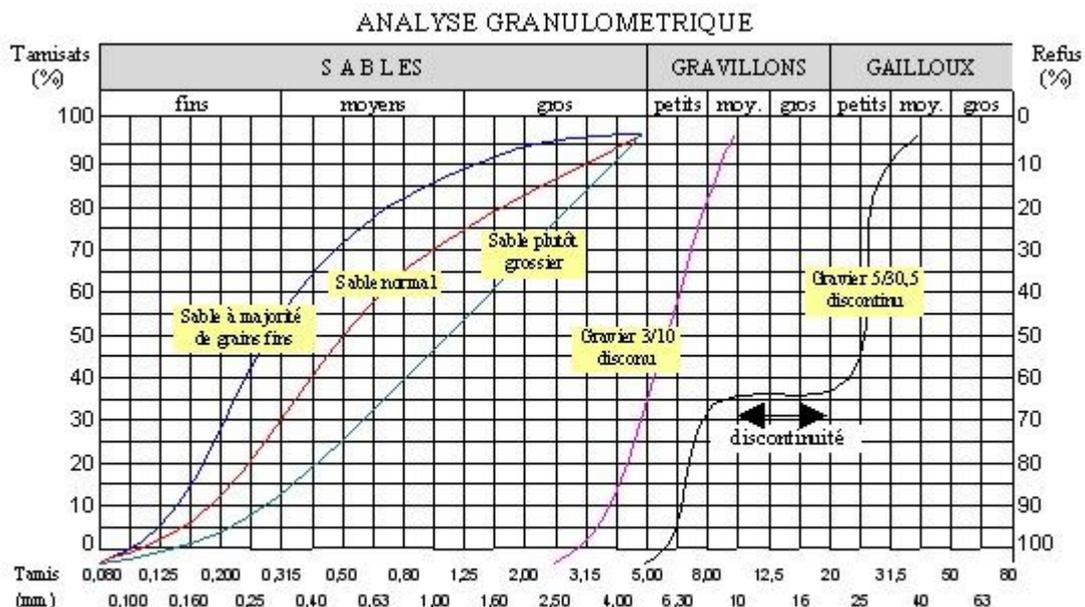


Fig. 3.6: Courbes granulométriques dans différents cas

2 – Les Ciments

2.1. Les caractéristiques du ciment portland

2.1.1 La prise

La prise minimum dépend de leur classe de résistance, suivant les normes, à la température de 20 °C, la prise peut atteindre: 1 h 30 pour les ciments de classes 35 et 45. et 1 h pour les ciments des classes 55 et HP. Pratiquement tous les ciments ont des temps de prise largement supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h pour la majorité des ciments.

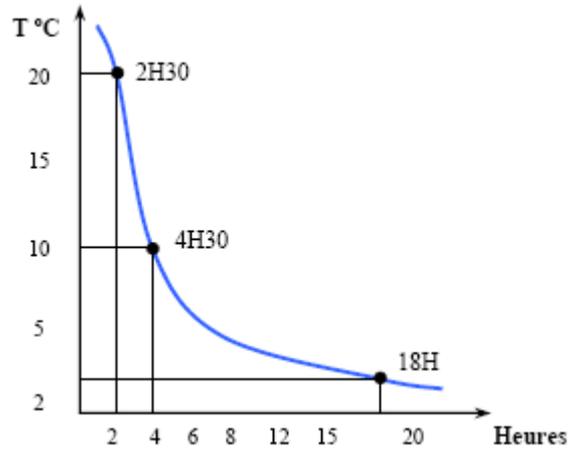


fig 2.5: Evolution du temps de prise en fonction de la température

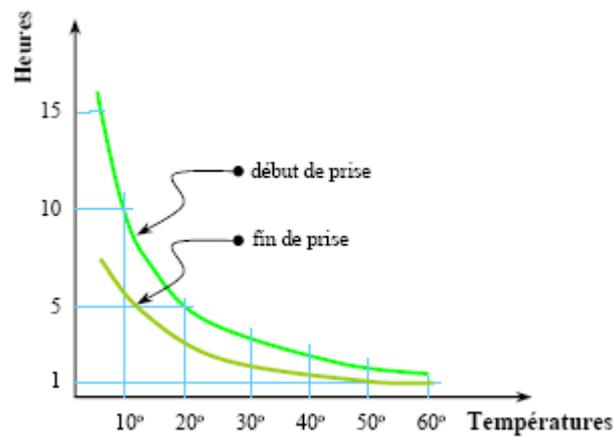


fig 2.6: Influence de la température sur la prise des ciments

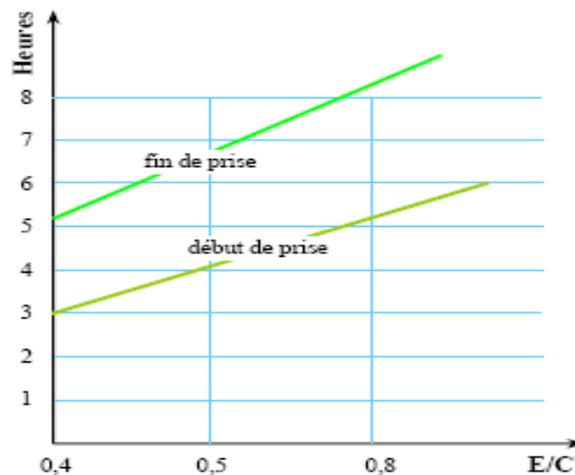


fig 2.7: Influence du E/C sur le temps de prise

2.1.2 Le durcissement

C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures.

Le graphique ci-dessous montre le développement des résistances dans le temps des constituants purs du ciment portland.

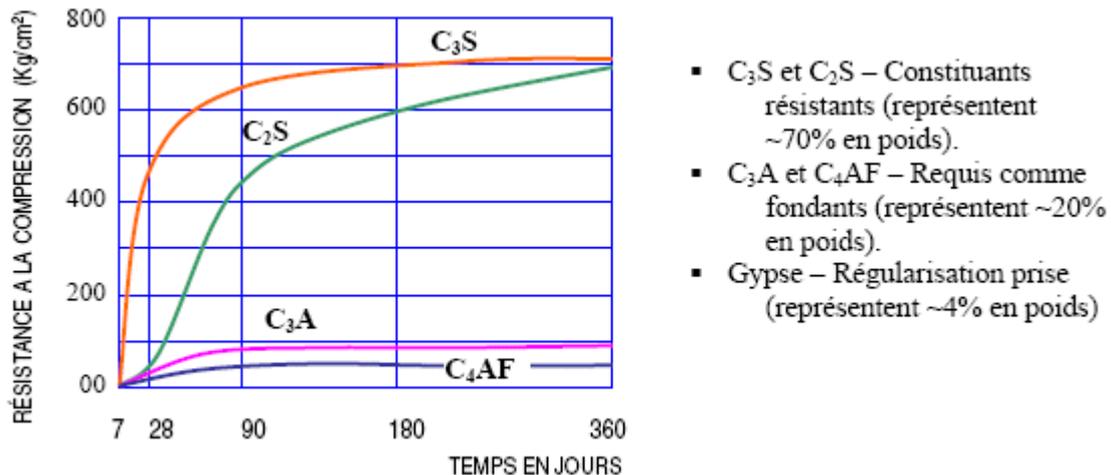


fig 2.8: Le développement des résistances dans le temps des constituants purs du CP.

2.1.3 Le retrait

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives. C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton.

En fait il existe plusieurs types de retrait:

- Le **retrait** avant **prise** dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation et dont l'amplitude est de 2 à 4 mm/m pour les bétons.
- le **retrait** hydraulique, est de l'ordre de 0,2 à 0,4 mm/m pour les bétons. Dans le cas de béton à faible rapport E/C, es fait par (consommation de l'eau de gâchage pour hydratation).
- le **retrait** thermique, qui est dû à la contraction du béton lors de son refroidissement.

L'importance du **retrait** hydraulique, est fonction de nombreux paramètres parmi lesquels:

- la nature du ciment
- le dosage en eau (fig 2.12)
- la propreté des **sables**
- la forme et la dimension des granulats

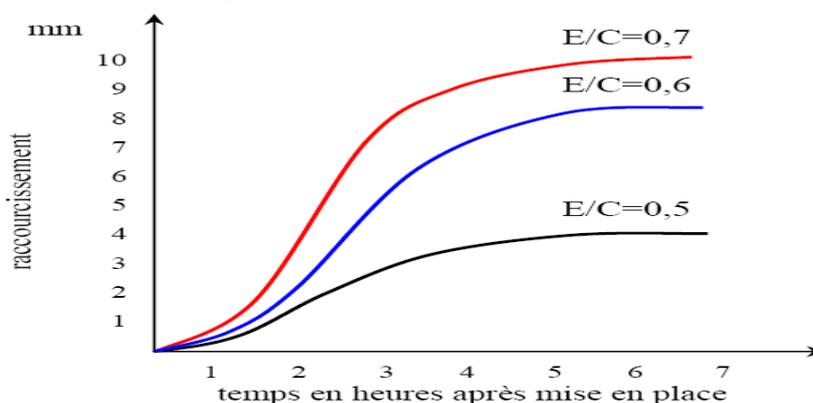


fig 2.12: Influence du E/C sur le **retrait** plastique des mortier.

2.1.4 Résistance à la compression

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16 cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en Mpa.

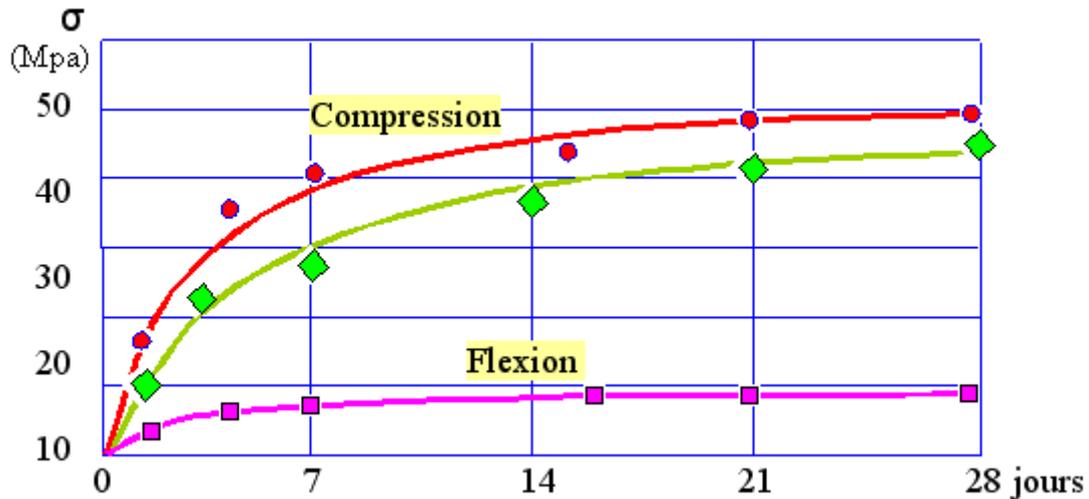


fig 2.14: Résistance du mortier normal

2.1.5 Dosage du ciment et taille des granulats.

Le dosage minimum du ciment selon le diamètre maximal des granulats (D). La formule est donnée

par les règles BAEL, DTU 21 est : $C = \frac{k}{\sqrt[3]{D}}$ où : k = 550 dans les cas usuels et k = 700 pour les

ouvrages exposés à des conditions agressives et sévères ou pour le béton précontraint.

III. TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DU BETON

Les propriétés rhéologiques du béton à l'état frais peuvent permettre de distinguer différents types de béton :

- béton vibré : nécessite une vibration (aiguille vibrante, banche vibrante ...) pour une bonne mise en place dans le coffrage ;
- béton compacté au rouleau : béton très raide qui est mis en place à l'aide d'un rouleau compresseur (utilisé principalement pour les chaussées, les pistes d'atterrissage ou les barrages) ;
- béton projeté : béton raide mis en place par projection sur une surface verticale ou en surplomb (il existe deux techniques : la projection par voie humide et la projection par voie sèche) ;
- béton pompé : béton fluide qui peut être acheminé sur plusieurs centaines de mètres à l'aide d'une pompe à béton ;
- béton auto-plaçant et béton auto-nivelant : bétons très fluides qui nécessitent pas de vibration, la compaction s'effectuant par le seul effet gravitaire.

1 – L’acheminement du béton

Le mode, la durée et les conditions de l’acheminement du béton sont des éléments déterminants dans sa formulation. Ils ont chacun une influence particulière sur sa manœuvrabilité et sa qualité.

Le béton se transporte soit par des moyens manuels (seau, brouette...), soit, pour de grandes quantités, par des moyens mécaniques. Dans ce cas, il est généralement transporté depuis la centrale à béton par [camions malaxeurs ou «toupies»](#) (capacité 7 à 15 m³).

Une fois sur le chantier, il est transvasé soit dans des bennes à béton (750 litres à 2 m³ et à volant ou à manchette) qui sont levées à la [grue](#) pour être ensuite vidées dans le [coffrage](#), soit dans une [pompe à béton](#) qui est accouplée à un mât de distribution du béton. Il peut aussi être projeté à l'aide d'un compresseur pneumatique. Cette technique est très utile afin d'exécuter plusieurs réparations sur des ouvrages en béton.

Certaines toupies sont aussi équipées d’un tapis roulant (d’une dizaine de mètres) permettant dans certains cas de se passer du moyen de levage.

Le démarrage du temps de prise du béton se fait à partir de son malaxage. Le transport entame donc ce temps et doit être le plus rapide possible pour préserver un maximum de manœuvrabilité du béton pendant sa mise en place.

La température lors du transport est aussi importante. La rapidité de prise du béton est fortement influencée par la température ambiante. Il est ainsi possible d'utiliser de l'eau froide par très grosses chaleurs et de l'eau chaude par temps froid, lors du malaxage. Certains camions sont également calorifugés

2 – La mise en œuvre du béton

Le béton est coulé dans un coffrage ([moule](#) à béton). Pendant son malaxage, son transport et sa mise en œuvre, le béton est brassé et de l’air reste emprisonné en lui. Il faut donc enfonce des aiguilles Vibrantes dans le béton pour faire remonter ces bulles d’air en surface. La vibration a aussi pour effet de couler plus facilement le béton dans le coffrage, de répartir ses agrégats et son liant autour des armatures et sur les faces et les angles qui seront visibles, de le rendre homogène mécaniquement et

Coulage d'une dalle en béton



Cône d'Abrams



esthétiquement. Le béton est coulé par couches d’environ 30 cm pour la simple raison qu’un vibreur courant fait 30cm de haut. Lorsque l’on enfonce un vibreur dans le béton, il faut atteindre la couche inférieure pour la marier avec la dernière couche sans poches jointives.

La cure du béton est importante au début de sa prise. Elle consiste à maintenir le béton dans un environnement propice à sa prise. Il faut éviter toute évaporation de l'eau contenue dans le béton (par temps chaud et/ou venteux), ce qui empêcherait la réaction chimique de prise de se faire et mettrait donc en cause la résistance du béton.

Il faut aussi éviter les chocs thermiques. La réaction exothermique du béton, éventuellement ajoutée à une forte chaleur ambiante fait que le béton pourrait « s'autocuire ». À l'inverse il faut protéger le béton du froid ambiant pour que la réaction chimique du béton s'amorce et qu'elle s'entretienne pendant un laps de temps minimum (jusqu'à 48h pour les bétons à prise lente). Dans le cas de grands froids, les coffrages sont isolés (laine de verre ou tentes chauffées) et doivent rester en place jusqu'à ce que le béton ait fait sa prise.

3 – Aspect et usages

Le béton peut être teinté dans la masse en y incorporant des pigments naturels ou des oxydes métalliques. Il peut aussi être traité à l'aide d'adjuvants pour être rendu hydrofuge (il devient alors étanche, empêchant les [remontées capillaires](#)). L'ajout de différents matériaux (fibres textiles, copeaux de bois, matières plastiques...) permet de modifier ses propriétés physiques. Son parement pouvant être lissé ou travaillé, le béton de ciment est parfois laissé apparent (*brut de décoffrage*) pour son esprit minimaliste, brut et moderne.

Le béton utilisé en revêtement de grandes surfaces (esplanades, places publiques...) est souvent désactivé : on procède en pulvérisant, à la surface du béton fraîchement posé, un produit désactivant qui neutralise sa prise. Un rinçage à haute pression permet alors, après élimination de la laitance, de faire apparaître, en surface, les divers gravillons constitutifs.

Moulé ou *banché* (c'est-à-dire coulé dans une [banche](#) : un moule démontable mis en place sur le chantier et démonté après la prise), le béton peut prendre toutes les formes. Cette technique a permis aux [architectes](#) de construire des bâtiments avec des formes courbes.

En technique routière, le béton extrudé, mis en œuvre à l'aide de coffrages glissants, permet de réaliser des murets de sécurité, des bordures et des dispositifs de retenue sur des linéaires importants.

IV. ETUDE EXPERIMENTAL DU BETON FRAI

1 - Résistance du béton frais

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

À la suite d'études faites sur ce sujet, il semble que:

- le rapport optimal E/C est voisin de 0,40 (béton plutôt sec),
- le pourcentage optimal $\frac{\text{Sable}}{\text{Granulat}}$ est d'environ 0,38 (soit : G/S = 2,6 valeur élevée),
- les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés,
- la fréquence de la vibration est prépondérante (résistance triplée quand on passe de 3000 à 6000 périodes par minute).

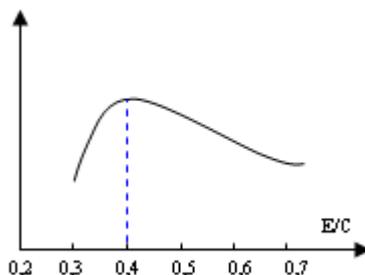


Fig. 6.5.3: Résistance du béton frais

La résistance en compression peut atteindre 0,3 à 0,4 MPa tandis que celle en traction ne dépasse guère 1/100e de ces valeurs, soit 0,004 MPa.

2 – Essais sur le Béton Frais

1. Essai d'élément sur table-Flow test (ISO 9812)

Cet essai est particulièrement adapté au béton très fluide, fortement dosé en super plastifiant. Le diamètre du plus gros granulats ne doit pas dépasser 40mm.

- Principe de l'essai

La consistance est appréciée dans cet essai par l'étalement que connaît un cône de béton soumis à son propre poids et à une série de secousses. Plus l'étalement est grand et plus le béton est réputé fluide.

- Matériel nécessaire et principe de l'essai

Le matériel nécessaire est décrit dans la norme ISO 9812 (norme expérimentale) et schématisé sur la figure 6.10.1. Il consiste en :

- un plateau carré de 70cm de côté permettant d'imprimer des secousses au béton qui sera moulé dans son centre ; le plateau de bois est recouvert d'une feuille métallique de 2mm d'épaisseur. Il est articulé sur un de ses côtés ;
- un moule tronconique de 20cm de haut, de 20cm de diamètre à sa base et de 13cm à sa partie supérieure ;
- un pilon en bois de section carrée 4cm × 4cm.

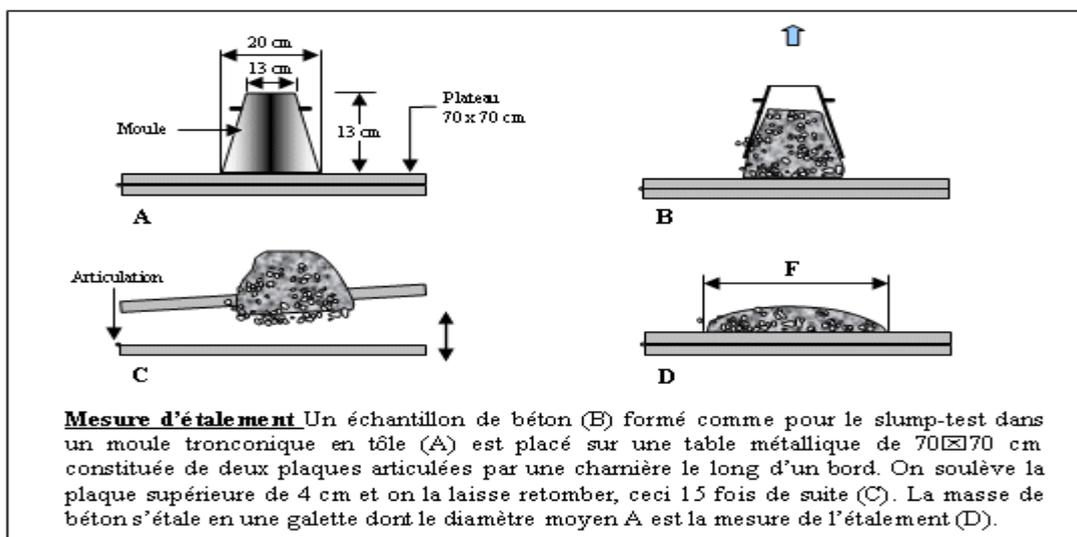


Fig. 6.10.1 : Essai d'étalement sur table

▪ Conduite de l'essai

L'essai consiste à remplir avec le béton étudié le moule tronconique placé au centre du plateau carré. Le béton est mis en place en 2 couches et compacté par 10 coups au moyen du pilon. Après avoir arasé le béton avec une truelle, le moule est retiré verticalement. Le plateau est alors soulevé de 4 cm par un côté (le côté opposé étant maintenu par l'articulation) et relâché en chute libre 15 fois de suite en 30 secondes. Si le béton forme une galette approximativement circulaire et sans ségrégation, l'essai est valable.

La moyenne des mesures du diamètre de la galette dans deux directions parallèles au côté du plateau définit la consistance mesurée sur la table à secousse. Elle est arrondie au cm le plus proche.

▪ Classe d'étalement sur table

La norme ENV 206 définit 4 classes d'étalement sur table :

Classe d'étalement	F1	F2	F3	F3
Diamètre en (cm)	≤34	35 à 41	42 à 48	49 à 60

2. Essai Vibré (ISO 4110)

Cet essai est particulièrement utile pour tester les bétons de faible ouvrabilité. La dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm.

▪ Principe de l'essai

Dans cet essai, la consistance est définie par le temps que met un cône de béton à remplir un volume connu sous l'effet d'une vibration donnée. Plus ce temps est court et plus le béton sera considéré comme fluide.

▪ Matériel nécessaire

L'appareillage est entièrement décrit dans la norme ISO 4110. Il est constitué d'un consistomètre schématisé sur la figure 6.8.1 et comportant les éléments suivants:

- un récipient cylindrique de 24 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur;
- un cône d'Abrams;
- un disque horizontal transparent de 23 cm de diamètre;
- une table vibrante équipée d'un vibreur fonctionnant à la fréquence de 3000 vibrations par minute et conférant à la table des mouvements d'une amplitude verticale de ± 0.5mm environ;
- une tige de piquage.

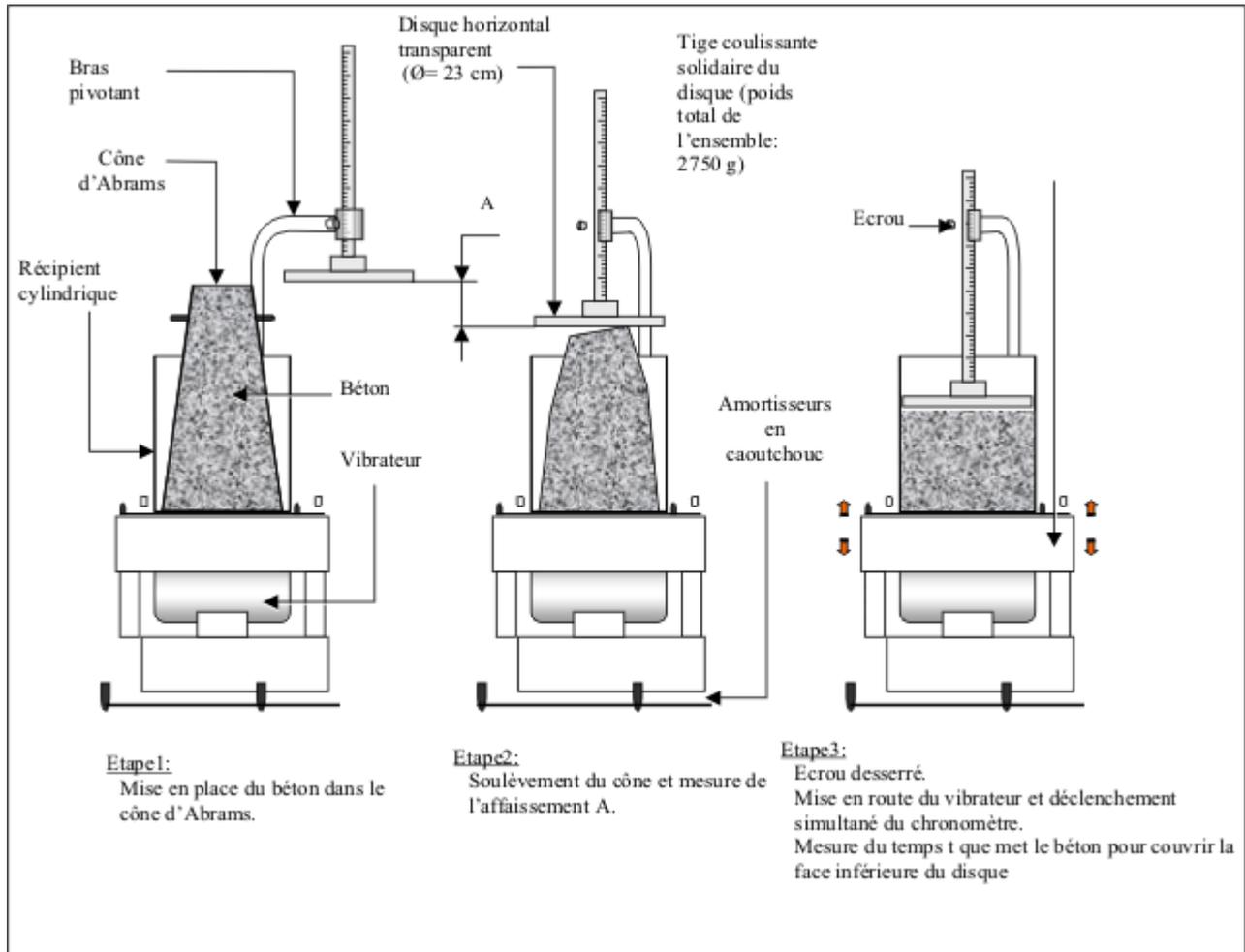


Fig.6.8.1: Essai vibré

▪ Conduite de l'essai

Le cône d'Abrams est fixé à l'intérieur du récipient cylindrique (cf. figure 6.8.1). Le béton est mis en place dans ce cône. Le cône d'Abrams est alors soulevé et, à ce stade de l'essai, il est donc possible de mesurer l'affaissement au cône comme indiqué précédemment. L'essai se poursuit ensuite par la mise en vibration de la table durant un temps t tel que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie et au contact du disque transparent qui accompagne la descente du béton pendant le compactage.

▪ Classe de consistance Vibré

Le temps t exprimé en secondes définit la consistance Vibré. 5 classes de consistance Vibré sont définies par la norme ENV 206 en fonction du temps t:

Classe Vébé	V0	V1	V2	V3	V4
Temps à l'essai Vébé	≥31 s	30 s à 21 s	20 s à 11 s	10 s à 5 s	≤4 s

3. Essai d'affaissement 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.

▪ Matériel nécessaire

L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure 6.7.1; 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.

▪ 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 supérieure 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.

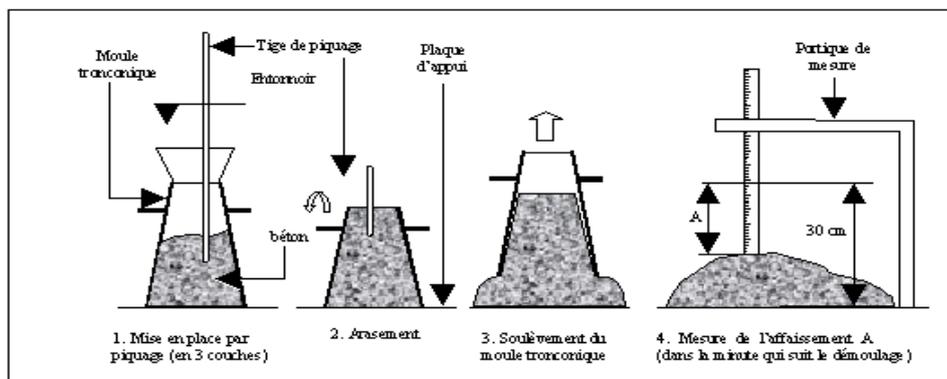


Fig. 6.7.1: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams

▪ Classe d'affaissement

La norme ENV 206 définit 4 classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré. Elles sont indiquées sur la figure 6.7.2. 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 appelée 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).

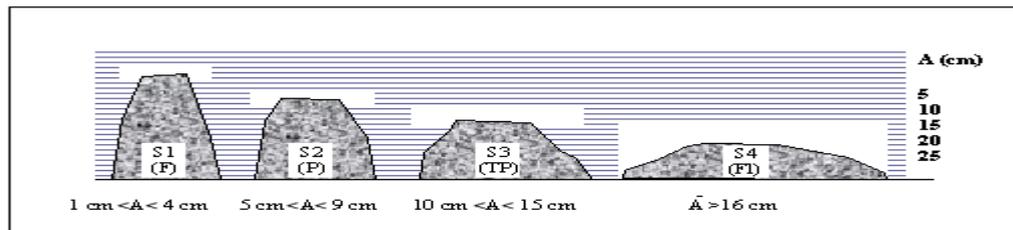


Fig. 6.7.2: Classes de *consistance* mesurées au cône d'Abrams

4. Essai de compactage (ISO 4111)

Dans cet essai, la dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40 mm.

- Principe de l'essai

La consistance est appréciée ici par le rapport entre un volume donné de béton avant compactage et après compactage. Ce rapport est d'autant plus faible que le béton est plus fluide.

- Matériel nécessaire

Il est écrit dans la norme ISO 4111. Il se compose

- d'un récipient parallélépipédique : 20 cm × 20 cm × 40 cm (cf. figure 6.9.1)
- d'une truelle rectangulaire.
- d'un moyen de compactage qui est une aiguille vibrante, de 40 mm de diamètre maximal ou une table vibrante.

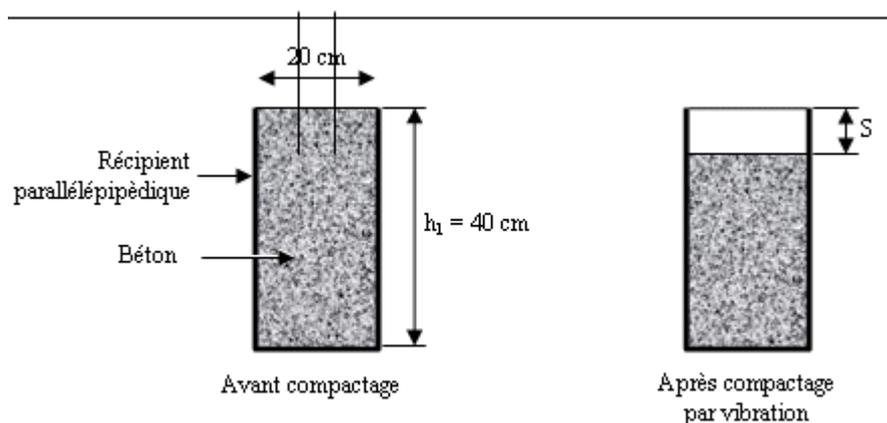


Fig.6.9.1: Mesure du degré de compactage

- Conduite de l'essai

La mode opératoire est défini par la norme ISO 4111.

L'essai consiste à remplir le récipient de béton. Le remplissage s'effectue avec la truelle en laissant tomber le béton alternativement de chacun des quatre bords supérieurs du récipient. Après avoir été arasé, le béton est compacté, soit au moyen de l'aiguille vibrante, soit au moyen de la table vibrante, jusqu'à ce qu'on ne puisse plus déceler de diminution de volume. Soit S l'affaissement du béton dans le moule mesuré aux quatre coins du récipient.

Le degré de compactibilité est exprimé par le rapport : $\frac{h_1}{h_1 - S}$

▪ Classe de compactage

La norme ENV 206 définit 4 classes de compactage en fonction du degré de compactibilité :

Classe de compactage	CO	C1	C2	C3
$\frac{h}{h-s}$	$\geq 1,46$	1,45 à 1,26	1,25 à 1,11	1,10 à 1,04

Chapitre N°2 : Essais sur les Bétons Durcis

I. Etude Théorique

1. Caractéristiques principales du béton durci.

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.

On verra que la résistance du béton dépend d'un grand nombre de paramètres : le type et le dosage des matériaux utilisés, le degré et la condition de réalisation etc.

Par ailleurs, la résistance du béton est fonction d'une quantité de facteurs autres que la classe de ciment et qui sont à contrôler et à surveiller dès le choix de la qualité des granulats et tout au long de la chaîne de bétonnage.

La résistance d'un béton est une notion toute relative et elle dépend de la méthode d'essai utilisée (comprenant la forme des éprouvettes).

Le tableau 6.6.1 ci-dessous indique les différentes catégories de béton avec les valeurs des résistances caractéristiques auxquelles elles correspondent, ces valeurs étant données pour les résultats obtenus sur cylindres et sur cubes.

tableau 6.6.1 : Les résistances caractéristiques des bétons

Classe	C12,5/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/45	C45/55	C50/60
f_{ck} cyl.	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ck} cube	15	20	25	30	37	45	50	55	60

1.1 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. Le cylindre le plus couramment employé est le cylindre de 16 (d = 15,96 cm) dont la section est de 200 cm². La normalisation européenne indique comme dimension des cylindres d = 15 cm de H = 30 cm.

Elle varie suivant la taille des éprouvettes essayées. Plus celles-ci sont petites et plus les résistances sont élevées. La résistance sur cylindre d'élanement 2 (par exemple diamètre de 16 cm, hauteur de 32 cm) est plus faible de l'ordre de 20% que la résistance sur cubes de 20 cm (Fig. 6.6.1).

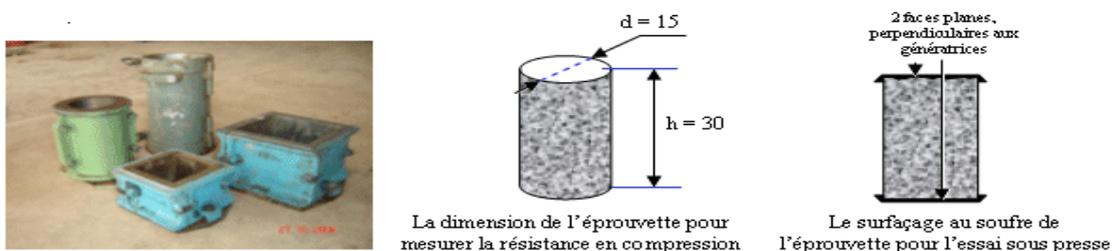


Fig. 1.1.1 : Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression

Le béton de l'ouvrage a des résistances différentes de celles du même béton essayé sur éprouvettes d'essai normalisés (il y a l'effet de masse et une hydratation différente du fait des évolutions des températures elles-mêmes différentes). La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée) et à l'échance fixée. Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en compression du diamètre vertical, la résistance en compression sera :

$$f_{cj} = \frac{P}{S}$$

avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ; S = surface du cylindre.

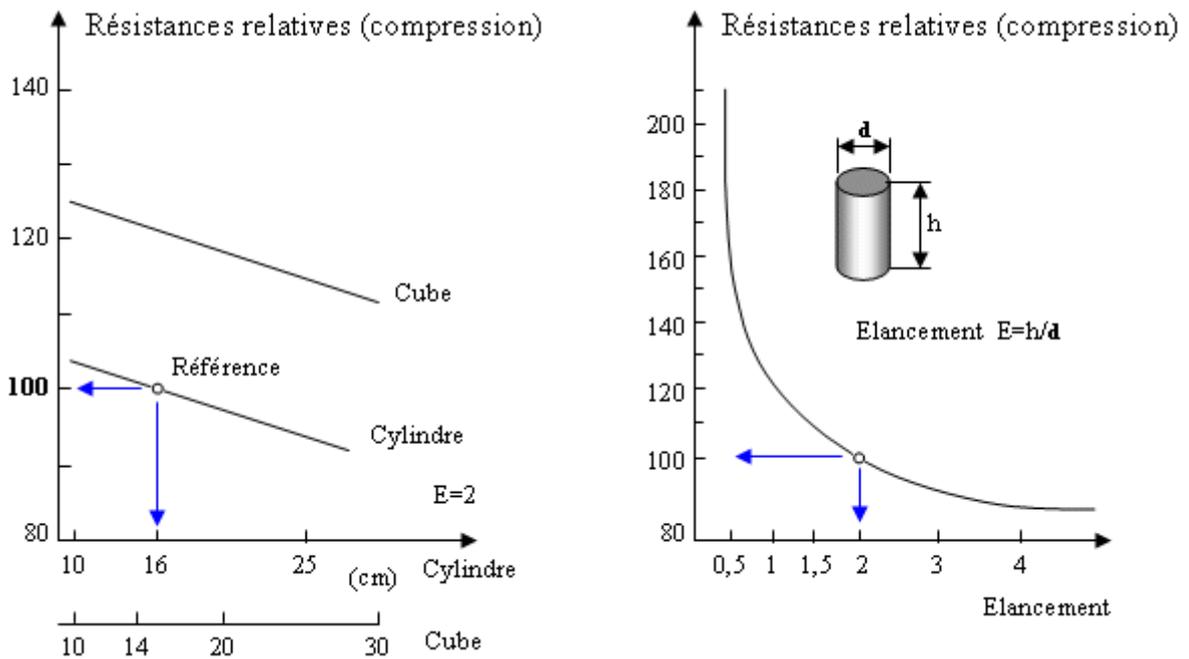


Fig. 1.1.2: Variations des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes

1.1.2 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} .

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 (Fig.1.1.3):

- 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 (Fig.1.1.3.A)).

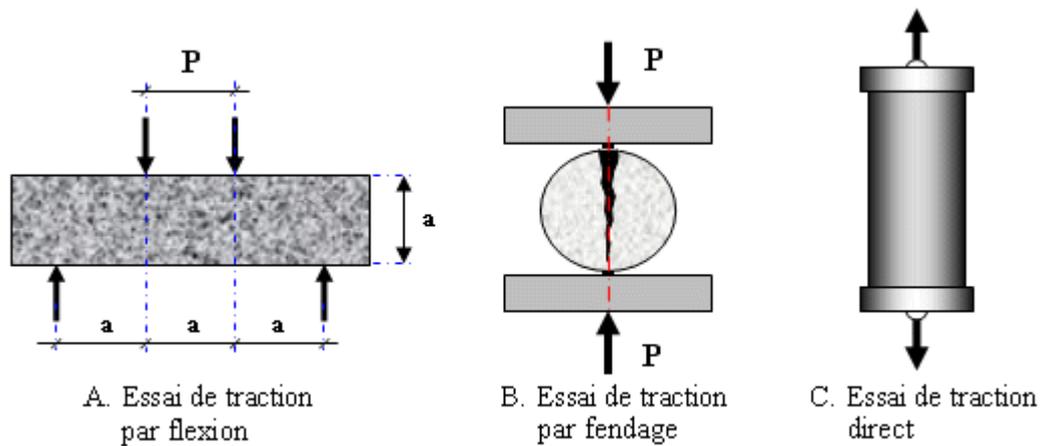


Fig. 1.1.3: Différents essais sur les résistances d'un béton en traction

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 :

$$f_{ij} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

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

La résistance en traction directe

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

II. Etude Expérimentale

1. Mesure de la résistance à la compression (NF P 18-406)

1.1 Confection des éprouvettes

Dimension des moules (NFP 18-400)

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques dont les moules ont des caractéristiques définies par la norme NFP 18-400 pour laquelle les moules plus fréquemment utilisés sont les moules cylindriques. Leurs dimensions sont indiquées ci-dessous ; elles doivent être choisies en fonction du diamètre maximal des granulats (D) entrant dans la composition du béton.

Tableau 2.1.1: Le format et la dimension des moules

Format (cm)	Dimension (mm)		Section (cm ²) par un plan		D (mm) des granulats
	Diamètre (d)	Hauteur (h)	Orthogonal	Diamétral	
Cylindre 11×22	112.8	220	100	248	≤16
Cylindre 16×32	159.6	320	200	511	≤40
Cylindre 25×50	252.5	500	500	1262	≤80

Mise en place et conservation du béton pour les essais d'étude, de convenance ou de contrôle (NF P 18-404) La mise en place dans les moules a lieu par vibration ou par piquage, en fonction des résultats de l'essai d'affaissement et conformément aux normes NF P 18-421, 422, 423.

Les moules ayant été munis d'un dispositif s'opposant à l'évaporation, les éprouvettes doivent être conservées sans être déplacées pendant 24 h ±1 h dans un local maintenu à 20°C ±2°C. Après démoulage, les éprouvettes doivent être conservées à même température, dans l'eau ou dans une chambre humide (d'humidité relative supérieure ou égale à 95 %).

1.2 Essais de compression (NF P 18-406)

▪ Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

▪ Principe de l'essai

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

▪ Equipement nécessaire

- Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions des norme NF P 18-411 et NF P 18-412.
- Un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre, ou disque diamanté.

▪ Rectification des extrémités des éprouvettes

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°C ±5°C, est liquéfié et versé sur une platine dont le fond a été rectifié (figure

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

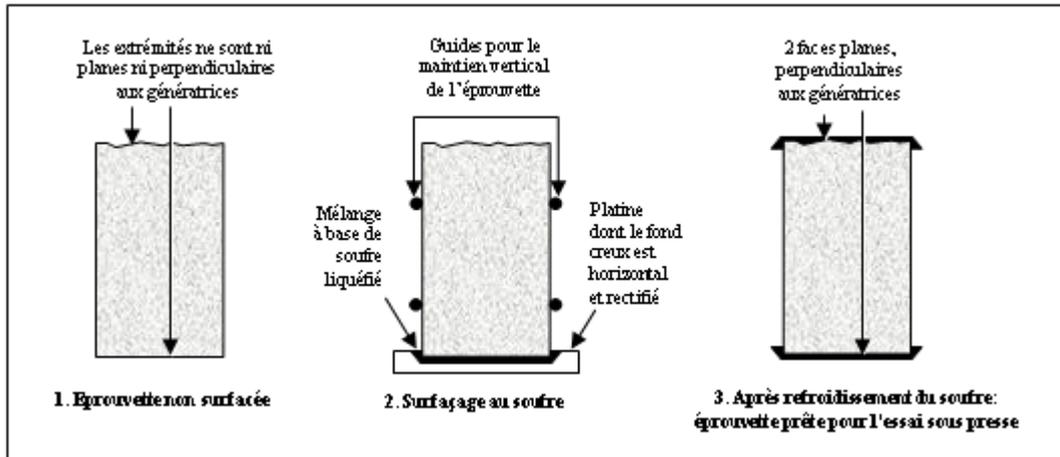


Fig. 6.5.1: Principe du surfaçage au soufre

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 important : 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), comme indiqué sur la figure 6.5.2.

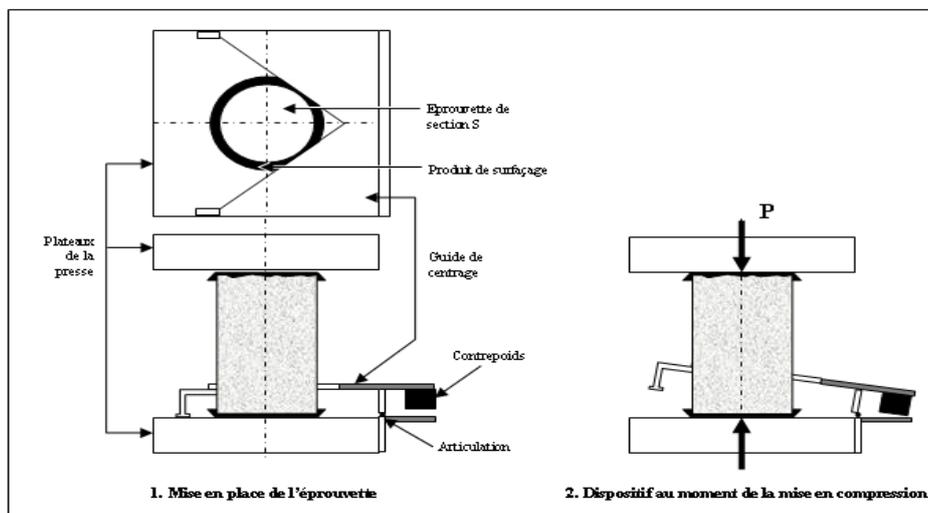


Fig 6.5.2: Exemple de dispositif de centrage de l'éprouvette sur la presse

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, Fc, est exprimée en MPa à 0,5Mpa près et a pour expression :

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

Dans la relation ci-dessus Fc est directement obtenue en MPa si P est exprimée en méganewton (MN) et S en m²

▪ Particularités de la rupture en compression

Pour des résistances supérieures à 60Mpa, et suivant 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. En général l'éprouvette rompt de la manière indiquée sur la figure 6.5.3

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 sur la figure 6.5.3 a) 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 (figure 6.5.3 b).

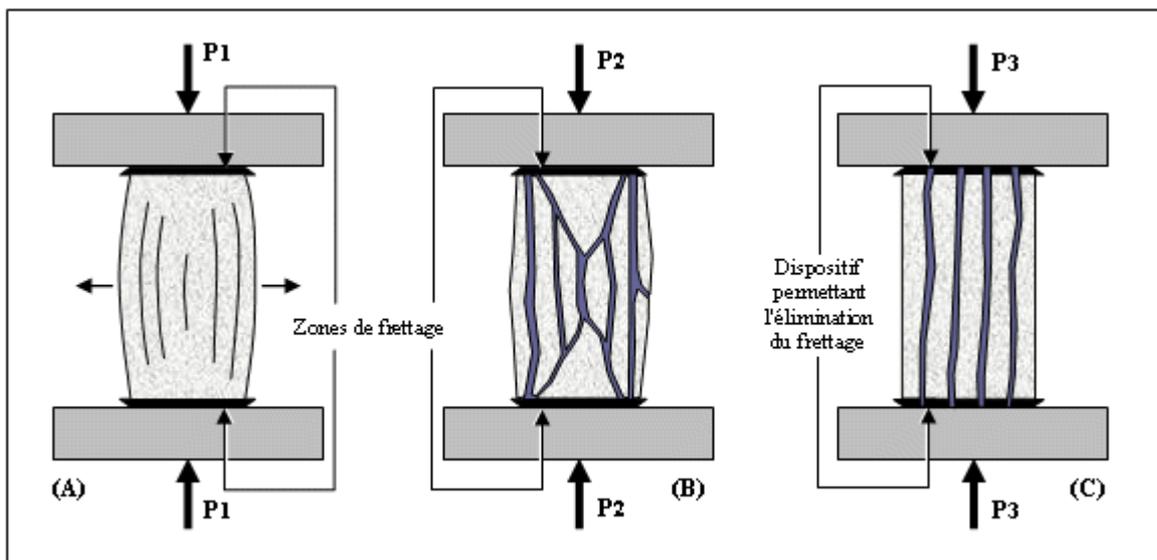


Fig. 6.5.3 : Mode de rupture des éprouvettes cylindriques en compression

Le frettage 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 (P3) habituellement plus faible que celle obtenue dans le cas général (P2) : en protégeant ses extrémités de l'éclatement, le frettage permet à l'éprouvette d'encaisser des chargements légèrement plus importants.

2. Mesure de la résistance à la traction (NF P 18-408)

▪ Objectif de l'essai

Le but de l'essai est de connaître la résistance à la traction du béton de l'éprouvette cylindrique.

▪ Principe de l'essai

On procède généralement par essai de fendage sur éprouvette cylindrique conformément à la norme NF P 18-408. Dans cet essai, on applique à l'éprouvette un effort de compression induit des contraintes de traction dans le plan passant par ces deux génératrices. La rupture, due à ces contraintes de traction, se produit dans ce plan (figure 6.6.1). Le calcul permet de définir la contrainte de traction correspondant à cette rupture.

▪ Equipement nécessaire

- Une presse de force appropriée conforme aux normes NF P 18-411 et NF P 18- 412.
- Des bandes de chargement en contreplaqué neuf ayant une section dont les dimensions sont indiquées sur la figure 6.6.1 et une longueur au moins égale à celle de l'éprouvette.
- Des moules cylindriques, pour la confection des éprouvettes, qui ne doivent pas être en carton car de tels moules ne garantissent pas avec suffisamment de précision la rectitude des génératrices.

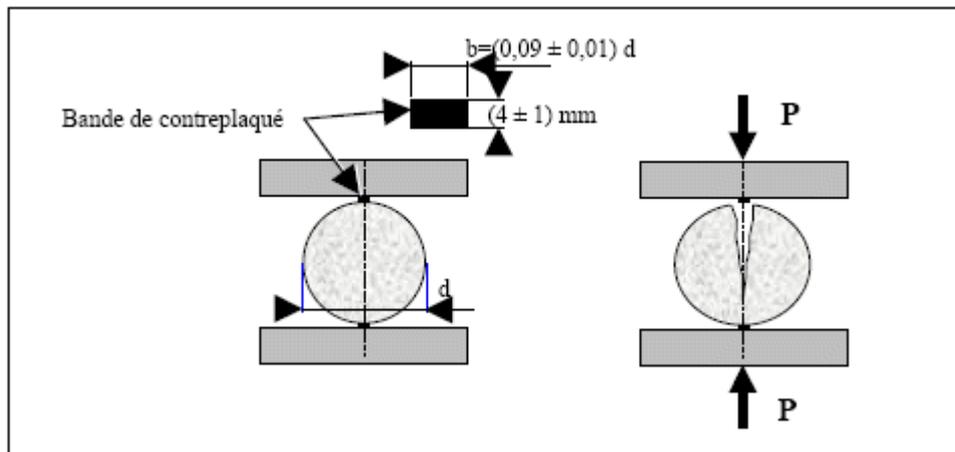


Fig. 6.6.1: Dispositif pour l'essai de rupture par fendage.

▪ Conduite de l'essai

L'éprouvette est placée entre les deux plateaux de la presse comme indiquée sur la figure 6.6.1, le contact entre les plateaux et l'éprouvette se faisant par l'intermédiaire des deux bandes de contreplaqué. Le centrage de l'éprouvette doit se faire à 0.5mm près à l'aide d'un gabarit de centrage.

La vitesse de chargement doit être constante pendant toute la durée de l'essai et égale à 1,94 kN/s±0,39kN/s pour les cylindres 11×22 et 4,01 kN/s±0,80 kN/s pour les cylindres 16×32 (ce qui correspond à un accroissement de la contrainte de traction de 0,05MPa/s avec une tolérance de +20%). Si h est la hauteur de l'éprouvette, d son diamètre et P la charge appliquée, la contrainte de rupture vaut :

$$f_t = 0,637 \frac{P}{dh}$$

Dans la relation ci-dessus f_t est directement obtenue en MPa si P est exprimée en méganewtons (MN) et d et h en mètres (m). Cette contrainte doit être exprimée à 0,1 MPa près.

Remarque

Il existe un autre essai de traction par flexion se fait par la machine SIMRUPT qui provoque sur les éprouvettes de 7x7x28 cm de béton un effort de flexion composée, la résistance du béton à la traction F_{tj} est donnée directement par la machine

Chapitre N°3 : Composition d'un Béton

I. Généralités

1. Etude de la composition d'un béton

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées 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.

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.

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton l'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 de ciment, l'humidité du granulat passant après la consistance du béton à obtenir.

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

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 oeuvre utilisés.

Dans la composition d'un béton, les deux relations importantes suivantes interviennent:

- La somme des poids des constituants de 1 m³ de béton fini est égal au poids de 1 m³ de béton fini. Si le ciment (C), l'eau (E) et les granulats (G_i) sont les poids des constituants en kg par m³ de béton fini et Δ. la densité du béton en place, on a :

$$C + E + (\sum G_i) = 1000$$

- Le volume occupé par les constituants de 1 m³ de béton est égal à 1 m³. Si (C), (E) et (G_i) sont les volumes absolus des constituants en litres par m³ de béton fini et V le volume de l'air on a :

$$C + E + (\sum G_i) + V = 1000$$

Le dosage des constituants de béton en poids et en volumes absolus :

Tableau 6.4.2: Le dosage des constituants de béton en poids et en volumes absolus

CONSTITUANTS	DOSAGE EN POIDS (kg)		Masse spécifique (kg/dm ³)	DOSAGE EN VOLUMES ABSOLUS en L/m ³
	par gâchée de "α" m ³	par m ³		
- Ciment	α C	C	γ _C	c = C/γ _C
- Eau	α E	E	1	e = E
- Granulats 1	α G1	G1	γ _{G1}	g1 = G1/γ _{G1}
- Granulats 2	α G2	G2	γ _{G2}	g1 = G1/γ _{G2}
- Granulats 3	α G3	G3	γ _{G3}	g1 = G1/γ _{G3}
- Air	----	----	----	v
Σ	1000αΔ	1000 Δ	----	1000

○ Dosage en ciment

Formule de Bolomey : donne la résistance au béton en intervenant le dosage en ciment :

$$R_{b28} = G \cdot R_c \cdot \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \text{ OÙ : } R_{b28} = \text{résistance à la compression à 28 jours.}$$

R_c = résistance réelle du ciment, et G = coefficient $\geq 0,5$

La norme (NF P 18-305) pour le béton prêt à l'emploi fixe comme dosage minimal en ciment

$$C : C = \frac{250 + 10R_K}{\sqrt[3]{D}} \text{ OÙ : } D = \text{dimension du plus gros granulats.}$$

R_K = résistance caractéristique spécifiée pour le béton (MPa)

○ Dosage en Eau

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, la résistance du béton

dépend du coefficient $\frac{E}{C}$ Où : E = quantité d'eau et C = quantité du ciment

Par exemple pour $\frac{E}{C} = 0,5$ on estime que : la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est une eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour la mise en œuvre.

○ Dosage des granulats

Suivant les exigences de l'ouvrage : un sable et un ou deux types de gravillons, par suite le dosage des granulats dépend de deux facteurs :

- Proportion relative gravillons/sable est traduit par le facteur : $\frac{G}{S}$ Où : G = quantité de Gravillons et S = quantité du Sable. Les études récentes ont fait apparaître comme moins importance lorsque $\frac{G}{S} < 2$. On principe $\frac{G}{S} \approx 2$.
- La granulométrie du sable et des gravillons

Exemple Pratique de Composition

○ Béton non armé avec gravillon 5/20

R _c 28 MPa	Dosage pour 1m ³ du béton					
	Ciment	Sable 0/5		Gravillons 5/20		Eau
	Kg	Litre	Kg	Litre	Kg	Litre
15	230	620	961	700	1015	150
20	270	575	891	720	1044	150

○ Béton armé avec gravillon 5/20

R _c 28 MPa	Dosage pour 1m ³ du béton					
	Ciment	Sable 0/5		Gravillons 5/20		Eau
	Kg	Litre	Kg	Litre	Kg	Litre
25	320	530	821	745	1080	150
30	360	500	775	760	1102	150

○ Composition Et Dosage Des Bétons Au Normes Marocaine

Les différents bétons devront être conformes à la norme marocaine 10.O3.F.OO9. Les qualités et les dimensions des agrégats données ci-après ne sont données qu'à titre indicatif. Celles qui seront définitives seront proposées par l'Entrepreneur au BET et déterminées par un laboratoire agréé.

a) - BETON CLASSE B1

Résistance nominale à 28 jours = 270 bars à la compression

- Béton armé, béton coffré et béton de forme :

. Sable 0,01/6,3	:	400 litres
. Gravette 5/25	:	900 litres
. Ciment CPJ 45	:	350 kg

Le diamètre maximal des agrégats ne dépassera pas 25 mm.

b) - BETON CLASSE B2

Résistance nominale à 28 jours = 180 bars à la compression.

1) - Béton cyclopéen

. Sable 0,01/6,3	:	400 litres
. Gravillons 6,3/25	:	800 litres
. Ciment CPJ.45	:	250 kg
. Moellons	:	de dimensions correspondant à l'emploi ; la plus grande

Dimension doit être inférieure à la 8/10 de la dimension la plus faible de l'ouvrage à exécuter, sans excéder 30cm.

Les moellons ajoutés doivent être mouillés au préalable parfaitement enrobé et réparti régulièrement dans la masse de l'ouvrage. Leur volume final ne doit pas être supérieur à la moitié du volume final de la partie d'ouvrage construite avec ce type de béton.

2) - Gros béton

. Sable 0, 01/6,3	:	450 litres
. Gravettes 5/25	:	350 litres
. Cailloux 25/63	:	650 litres
. Ciment CPJ.45	:	250 kg

Le diamètre maximal des agrégats ne dépassera pas 63mm.

3) - Béton de propreté

. Sable 0,1/6,3	:	400 litres
. Gravette 5/25	:	800 litres
. Ciment CPJ.45	:	250 kg

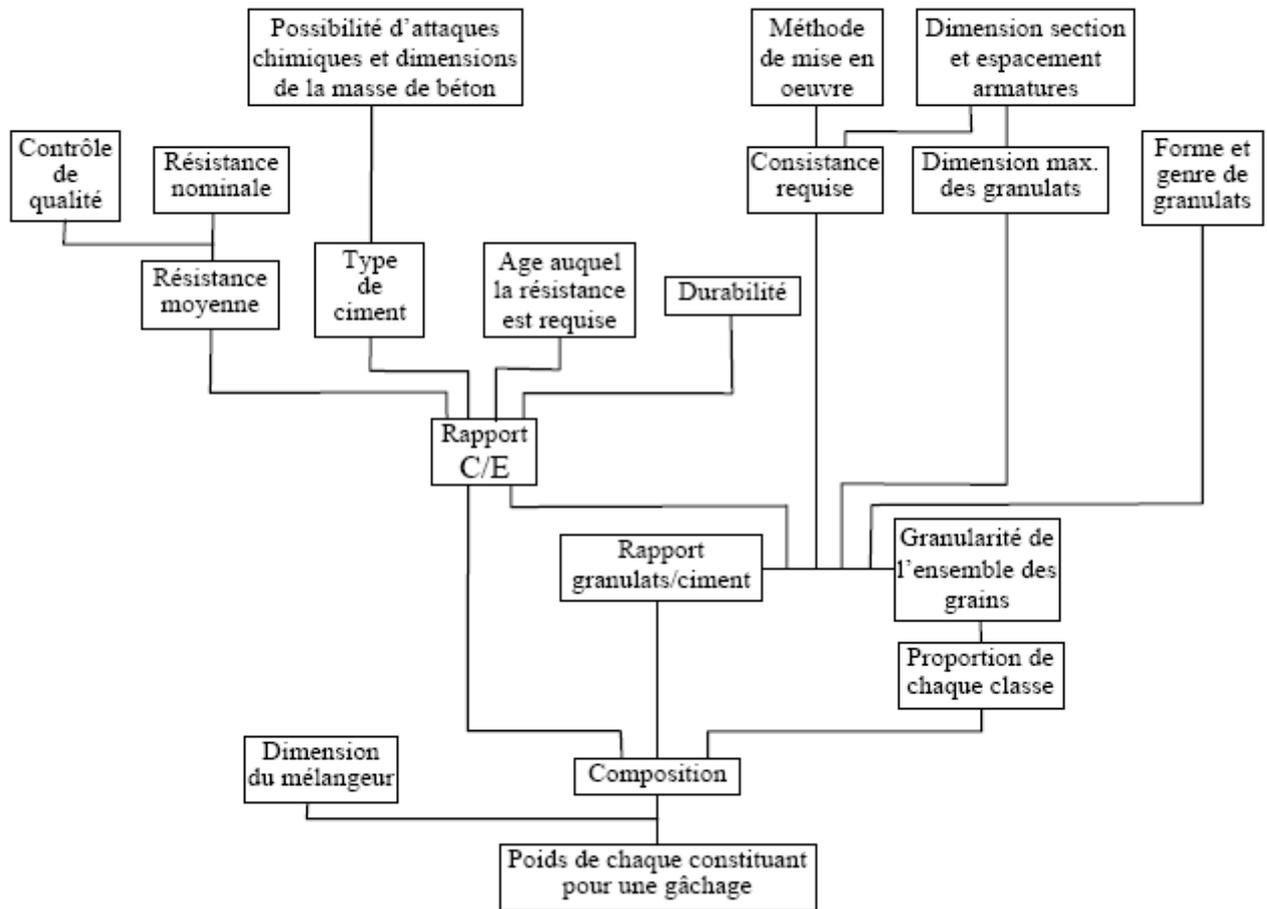
Le diamètre maximal des agrégats ne dépassera pas 40 mm.

NB :

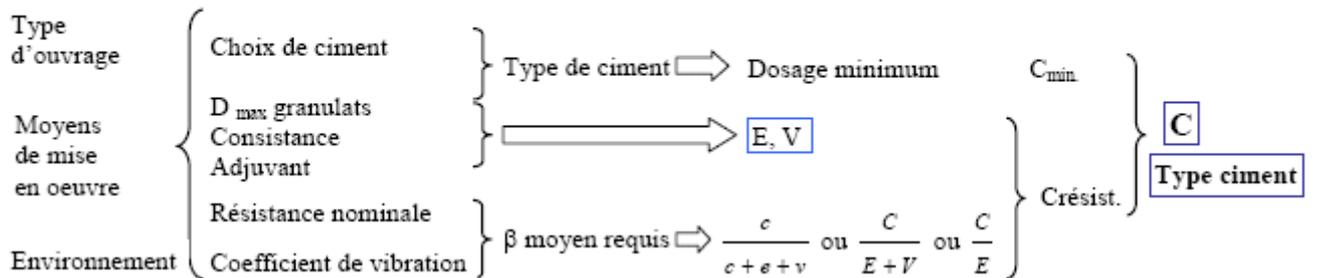
- Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif. Les dosages réels des agrégats et sable et leur teneur en eau et en ciment seront déterminés par le laboratoire à l'aide d'une étude de formulation et de convenance préalables.
- Le temps minimum entre l'achèvement de la mise en œuvre du béton et le décoffrage doit être déterminé à partir des données suivantes :

- Poutres- côtés	:	2 jours
- Sous-face	:	28 jours
- Poteaux	:	2 jours
- Dalles	:	28 jours
- Voiles chargés	:	6 jours
- Voiles non chargés	:	2 jours

DONNEES ET FACTEURS DE BASE



Etude de la composition



$C + E + \Sigma G = 1000\Delta$	CIMENT	γ_C	----	----	⇒ ΣG
	EAU	1.00	----	----	
$c + e + \Sigma g + v = 1000$	GRANULATS (1,2)	γ_G	----	----	
	AIR	-	----	----	
			1000Δ	1000	

Courbes granulométriques $G_1 = p_1 \Sigma G, G_2 = p_2 \Sigma G, \dots, G_i = p_i \Sigma G$

II. Méthode de Dreux

1. Hypothèses.

On désire obtenir un béton :

- De résistance f_{c28}
- D'ouvrabilité A cm, connaissant la qualité et les dimensions des granulats.

2. Composition en ciment et en eau.

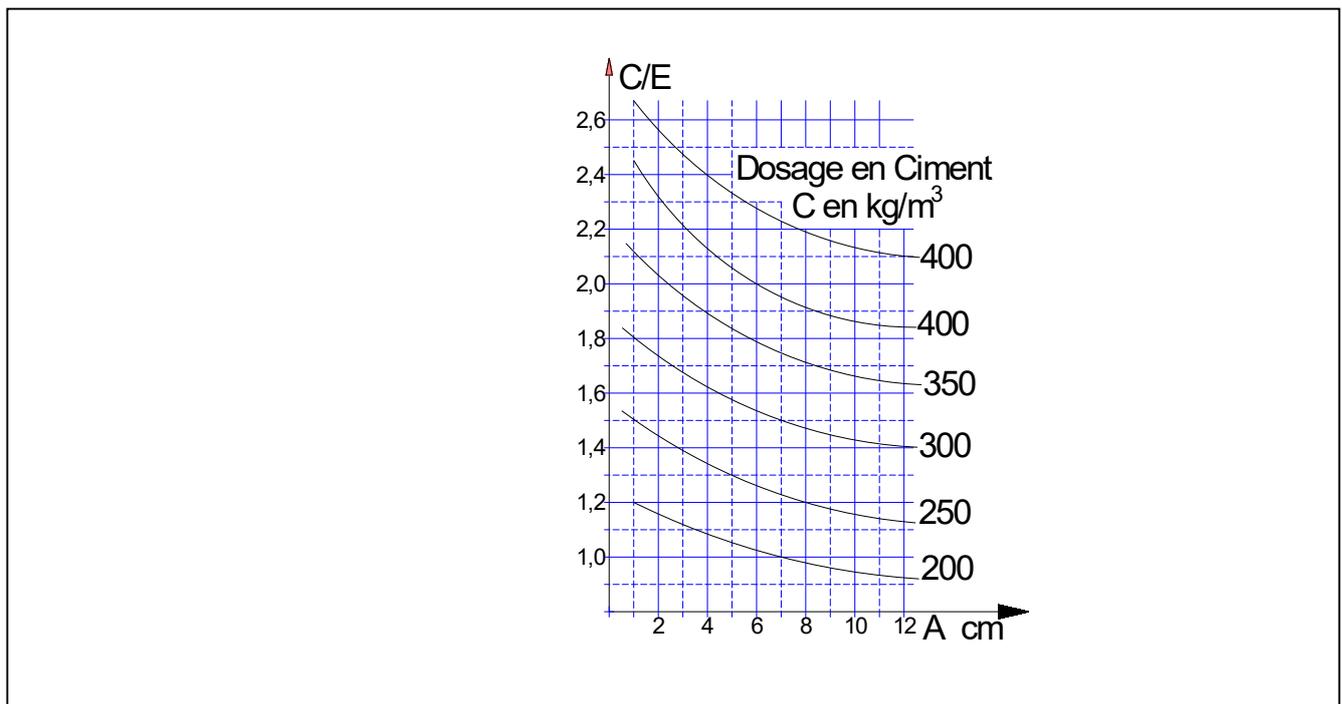
Formule de **Bolomey** : $f_{cm28} = G \cdot \sigma'_{28} \cdot \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$ Où : G = Coefficient Granulaire.

σ'_{28} = classe de résistance réelle du ciment, C = dosage en ciment (kg/m³)

E = dosage en eau (kg/m³) et f_{cm28} Résistance moyenne visée $f_{cm28} = 1,2 \cdot f_{c28}$

Connaissant f_{cm28} , σ'_{28} et G il est possible de déterminer $\frac{C}{E}$.

Connaissant la consistance A, on détermine le dosage en ciment C et en eau E à l'aide de l'abaque.



Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

Valeur approximative du coefficient Granulaire G

Le tableau suivant donne ces valeurs à condition que le serrage du béton soit effectué dans de bonnes conditions (en principe par vibration).

Qualités des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D<16mm)	Moyens (25<D<40mm)	Gros (D<63mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Correction en % sur le dosage en eau en fonction de D_{max} des Granulats

Pour D_{max} différent de 25mm il est nécessaire d'apporter des corrections à E suivant le plus grand diamètre D des granulats voir tableau suivant.

Dimension max des granulats D en mm	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau en %	+4	+9	+4	0	-4	-8	-12

3. Composition en Sable et en Gravillon.

Soit %S le pourcentage du sable et %G le pourcentage du Gravillons, V_s et V_G désigne respectivement

les volumes absolus de sable et de gravillons on a : Le $\%S = \frac{V_s}{V_s + V_G}$ et Le $\%G = \frac{V_G}{V_s + V_G}$

Correction des dosages

Les dosages ainsi trouvés donnent des densités théoriques, en réalisant des gâchées d'essais, on détermine des densités réelles et des affaissements réels.

Il faut donc corriger et ajuster les résultats de l'étude, afin d'égaliser la densité théorique et réelle, l'affaissement théorique et réelle.

Composition en Sable et en Gravillon.

Il faut tracer sur papier semi long les courbes granulométriques des granulats et la courbe optimale.

Tracer de la courbe optimale composée de deux segments de droite reliant les points O, A et B.

- o Le point O : Abscisse O, Ordonnée O
- o Le point B : Abscisse D, Ordonnée 100%
- o Le point A : Si $D < 20mm$ Abscisse est $D/2$, Si $D \geq 20mm$ Abscisse est milieu du $[5 \quad D]$

Dans les deux cas l'Ordonnée du point A est : $Y = 50 - \sqrt{D} + k + k_s$

k et k_s sont des coefficients tel que : $k_s = 6M_f - 15$ avec M_f = Module de finisse du sable utilisé et k : valeur donnée en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité du sable, voir tableau si dessous.

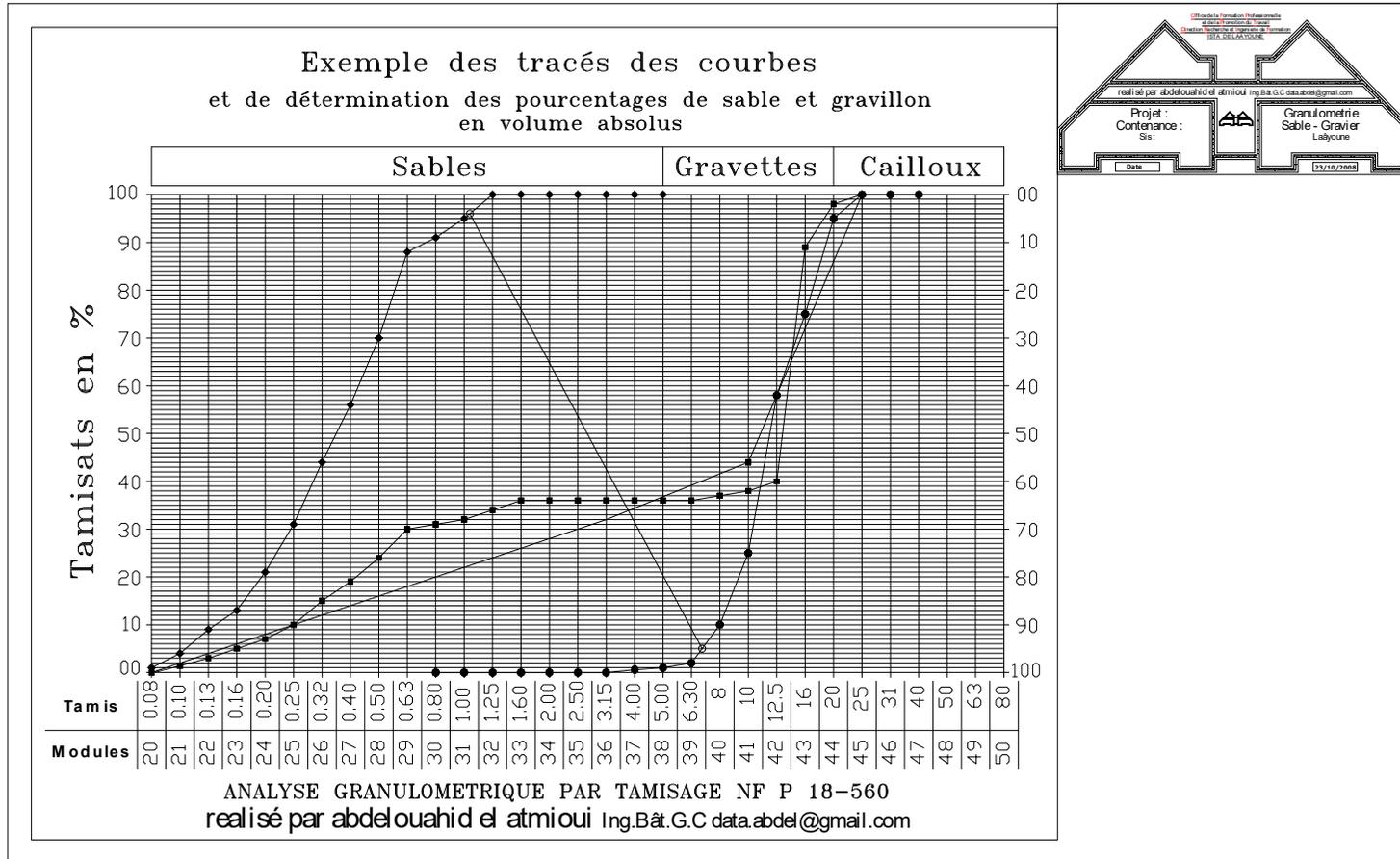
Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400+Fluidt	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	-2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+4	+4	+6

- Les courbes granulométriques des granulats et la courbe de référence sont tracés sur le même graphique.
- En suite, il faut tracer la ligne de partage joignant l'ordonnée 95% du sable et l'ordonnée 5% du gravillon.
- L'intersection avec la courbe optimale nous donne en partie supérieure le % de gravillon en volume absolu, en partie inférieure le % de sable en volume absolu.

4. Les Etapes de la méthode de dreux.

- 1^{ère} Etape les données : les granulats, le ciment, les caractéristiques du béton désiré.
- 2^{ème} Etape Détermination du dosage en ciment.
- 3^{ème} Etape Tracer de la courbe de référence.
- 4^{ème} Etape Tracer la ligne de partage, détermination des % des granulats
- 5^{ème} Etape Détermination du coefficient de compacité et des dosages des granulats.
- 6^{ème} Etape Exécution d'une gâché d'essai, éventuellement correction du dosage.
- 7^{ème} Etape Tableau des dosages définitifs.

Exemple voir série des exercices.



Chapitre N°4 : Essais de Contrôle du Béton

I. Généralités

1°/ Contrôle des bétons Frais.

Essai de gâchage

- Béton frais : mesure Δ (contrôle des dosages effectifs) mesure plasticité (contrôle de la consistance) mesure teneur en air (contrôle des vides) Fabrication éprouvette (contrôle de β moyen)
- Béton durci: mesure Δ , mesure β cube, évolution scléromètre, évolution essai gel, perméabilité, essais spéciaux...

Corrections

En fonction des observations, des mesures faites lors de l'essai de gâchage et des résistances mécaniques obtenues, il sera nécessaire d'effectuer des corrections.

a) Consistance : Lors de l'essai de gâchage, il est recommandé de ne pas ajouter tout de suite la quantité d'eau totale E prévue. Il est préférable d'ajouter seulement 95 % de E, de mesurer la consistance, puis d'ajouter de l'eau jusqu'à obtention de la consistance prescrite.

b) Dosage en ciment : Si le dosage en ciment effectivement réalisé est faux, on devra le corriger. S'il faut rajouter (ou enlever) un poids ΔC de ciment pour obtenir le dosage désiré, on devra enlever (ou rajouter) un volume absolu équivalent de sable, soit un poids ΔC égal à :

$$\Delta S = \Delta C \cdot \frac{\gamma_{\text{sable}}}{\gamma_{\text{ciment}}} = \frac{2,68}{3,1} \Delta C$$

Si ΔC est important, il faudra aussi corriger la quantité d'eau.

c) Résistances mécaniques : Si les résistances mécaniques sont insuffisantes, il faudra avoir recours à l'une ou plusieurs des possibilités suivantes :

- Augmenter le dosage en ciment (au-delà de 400 kg/m³, une augmentation de dosage en ciment n'a plus qu'une très faible influence sur l'accroissement de résistance).
- Diminuer le dosage en eau sans changer la granulométrie.
- Corriger la granulométrie et réduire la quantité d'eau.
- Utiliser un autre type de granulats.
- Utiliser un adjuvant et réduire la quantité d'eau.
- Utiliser un ciment à durcissement plus rapide.

On devra en tous cas toujours veiller à ce que la consistance du béton permette une mise en oeuvre correcte.

2°/ 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 œuvre 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 œuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges.

2.1. 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.

Causes et constatation	Remèdes
Le retrait avant prise est causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton. Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.	Il s'agit de s'opposer au départ brutal de l'eau par : - la protection contre la dessiccation. - l'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
Après la prise, il se produit : - Le retrait thermique dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment. On constate une légère diminution de longueur.	Il faut éviter de surdose en ciment. Les ciments de classe 45 accusent moins de retrait que ceux de classe 55 de durcissement plus rapide.
- Le retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment. Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.	Le béton aura d'autant moins de retrait qu'il sera plus compact ; ce qui dépend de la répartition granulaire, car un excès d'éléments fins favorise le retrait ainsi que les impuretés (argiles, limons).

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

Δl – est le raccourcissement.

L – est la longueur de l'élément.

Si une corniche en béton armé a une longueur de 15m, le **retrait** est de l'ordre de: $3 \times 10^{-1} \text{ ‰} \times 1500\text{cm} = 0,45\text{cm}$.

2.2. La dilatation

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

Pour chaînage en B.A. de 20m de longueur et un écart de température de 20°C , on a une dilatation de : $2 \times 10^{-1} \text{ ‰} \times 2000\text{cm} = 0,4\text{cm}$.

2.3. 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** (Fig. 6.7.1).

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

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

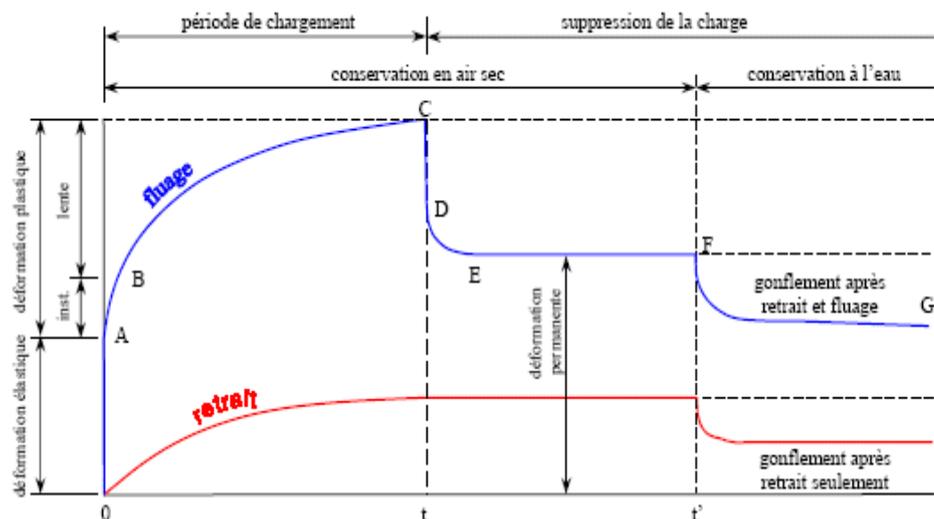


Fig. 6.7.1 : Chargement et déchargement. (Déformation réactive de retour).

2.4. Élasticité du béton

Le module d'élasticité E est défini par le rapport:

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}}$$

Pour les projets courants, on admet:

$E_{ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3}$ (module de déformation longitudinale instantanée du béton) avec f_{cj} = résistance caractéristique à « j » jours. $E_{vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3}$ (module de déformation différée) avec $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$. Il s'ensuit que

$$E_{vj} \approx \frac{1}{3} \text{ de } E_{ij}.$$

Notes : E_{ij} , E_{vj} , f_{c28} , f_{cj} sont exprimés en MPa.

Le module d'élasticité de l'acier est de l'ordre de : 200 000 N/mm², soit 2 000 000 daN/cm².

2.5. Effet «Poisson»

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

Le coefficient « Poisson » est le rapport :

$$\frac{\text{déformation transversale}}{\text{déformation longitudinale}} \quad \text{dont la valeur varie entre 0,15 et 0,30}$$

2.6. Mécanisme de la fissuration

Deux bétons ayant un même **retrait** final peuvent se comporter très différemment du point de vue de la fissuration (fig. 6.7.2) :

- le béton correspondant à L ne se fissure pas ;
- le béton correspondant à L' se fissure en I au temps t.

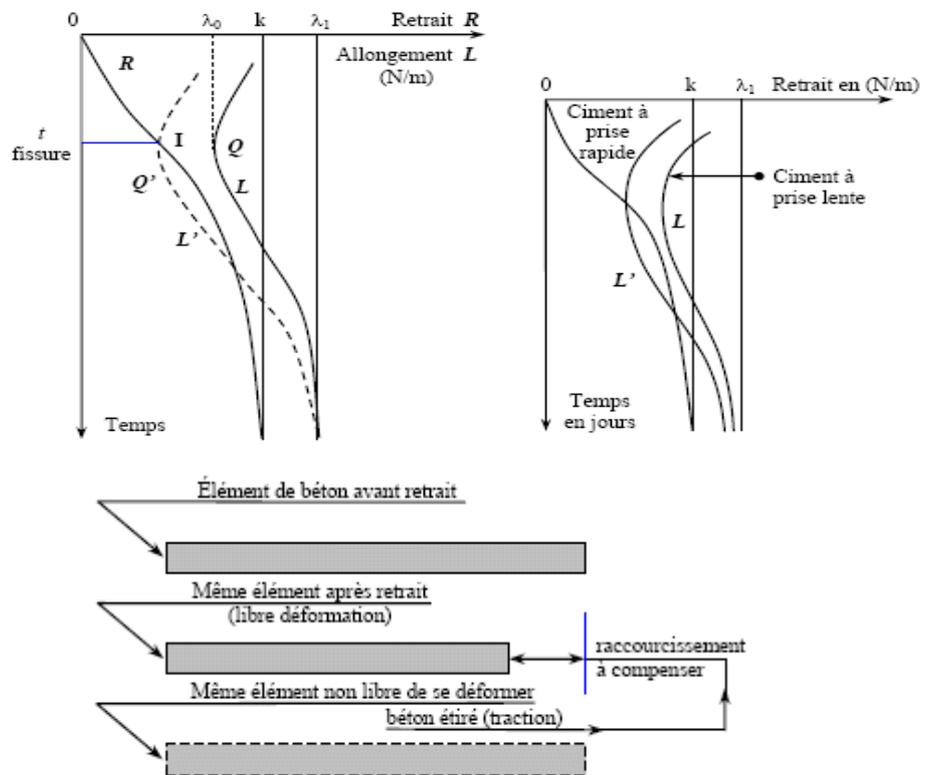


Fig. 6.7.2 : Le **retrait** du béton est pris en compte dans la conception des ouvrages (Exemple: joints de **retrait** des dallages et planchers).

Condition de fissuration d'un béton:

Le phénomène de **retrait** étire le béton de telle façon que l'allongement résultant compense le raccordement imposé par le **retrait**, si l'élément était libre de se déformer. Le **retrait** augmente avec le temps, la tension interne aussi: si elle dépasse la limite de rupture du béton, la fissuration se produit.

II. Essais de contrôle sur le béton frais



APPAREIL JOISEL 14X22 CM

Appareil Joisel \varnothing 14 x 22 cm pour analyse du béton frais et détermination de la teneur en ciment sable et agrégats.
 Petit récipient: tamis de 5mm --- Grand récipient : tamis de 0.160mm

1°/ Contrôles des bétons frais :

1- L'ouvrabilité :

Définition :

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober les armateurs convenablement et facilement.

Remarque : L'ajout de l'eau facilite l'ouvrabilité, mais il diminue la résistance, donc il faut toujours être composé par un rajout de ciment.

- La vérification de l'ouvrabilité se fait soit par :
 - Cône d'Abrus (ou slump test).
 - Table a se couses (ou flow test).

2- Densité :

On distingue les mesures de densité des bétons frais et des bétons durcis : **densité du béton frais**, permet d'ajuster et de corriger des dosages du béton théorique.

Densité des bétons durs, permet de donner la qualité de résistance des bétons (plus un béton lourd plus il sera résistant).

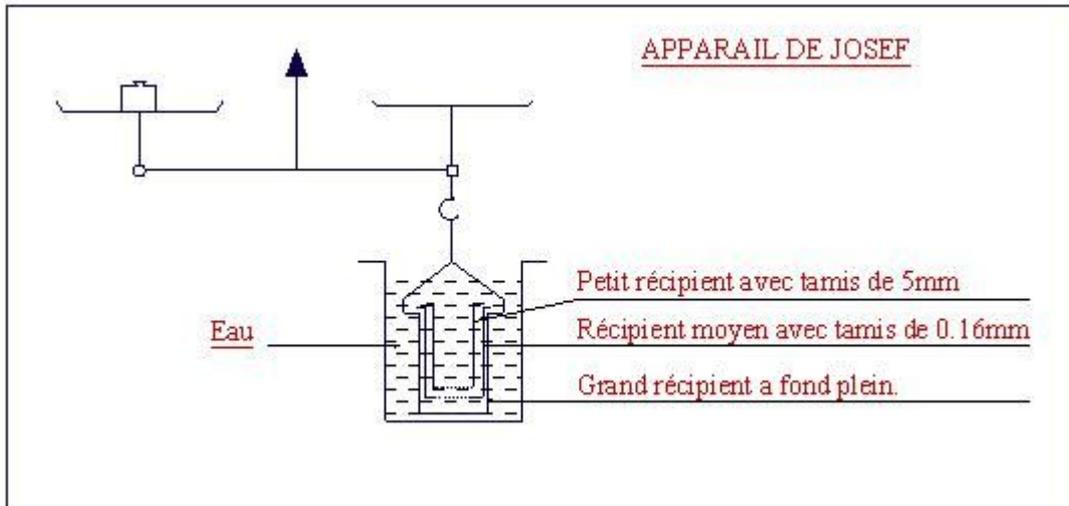
Remarque : la mesure de la densité se fait en générale en pesant une éprouvette cylindrique (16 x 32)cm de béton frais ou durcis .

3- Appareil Joisel :

- Analyse du béton frais : L'analyse du béton frais permet de contrôler la composition et le malaxage d'un béton.
 L'appareil Joisel permet de déterminer les quantités de ciment, sable, gravier et eau contenue dans un béton frais.
 Ainsi a fin de vérifier le dosage prescrit de contrôler l'homogénéité du mélange.

- Principe : La méthode consiste à laver le béton afin de séparer le gravillon et le sable
 Utilisation des pesées hydrostatiques afin de définir les différentes masses sèches des composants.

Appareillage :



4- Processus :

- Intérêt de la pesée hydrostatique :

On suppose qu'un corps de poids volumique γ_s pèse

- Dans l'air : P
- Dans L'eau : P_e

Dans L'eau, ce corps reçoit une poussée hydrostatique ascendante égale au poids de l'eau qu'il déplace (volume de corps $V \times \gamma_E$) où γ_E poids volumique de l'eau : $P_e = P - V \cdot \gamma_E$

On applique cette relation à un volume d'eau V_{eau} : On a

$P_e = P_{eau} - V_{eau} \cdot \gamma_E = 0$ Car : $\gamma_E = P_{eau} / V_{eau} \implies P_{eau} = V_{eau} \cdot \gamma_E$ (Principe d'Archimède)
 Donc, si le corps est composé d'une partie solide et d'eau (Comme par exemple le béton)

$$P_e = P_{solide} + P_{eau} - V_{solide} \cdot \gamma_E - V_{eau} \cdot \gamma_E = P_{solide} - V_{solide} \cdot \gamma_E$$

On a donc uniquement la Pesée de la partie Solide.

- Relation entre masse dans L'aire et masse dans L'eau :

D'après la relation précédente on a :

$$P_e = P - V \cdot \gamma_E = P - P / \gamma_s \cdot \gamma_E = P(1 - \gamma_E / \gamma_s) = P \cdot (\gamma_s - \gamma_E) / \gamma_s$$

$$\implies P = P_e \cdot \gamma_s / (\gamma_s - \gamma_E)$$

On prend $\gamma_E = 1 \text{ kg / dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$

On a:

$$M = M_e \cdot \gamma_s / (\gamma_s - 1)$$

5- Mode opératoire

- Notation

	Masses dans l'air	Masses dans l'eau	Masses volumiques absolues
Gravier	M_G	M_{Ge}	$\gamma_G = 2.5 \text{ g/cm}^3$
Sable	M_s	M_{Se}	$\gamma_S = 2.5 \text{ g/cm}^3$
Ciment	M_c	M_{Ce}	$\gamma_C = 3.1 \text{ g/cm}^3$
Eau	M_e	M_{Ee}	$\gamma_E = 1 \text{ g/cm}^3$

- Tarer les récipients :
 - * Appareil complet dans l'air
 - * Appareil complet dans l'eau
 - * Petit récipient dans l'eau
 - * Récipient moyen dans l'eau
- Peser 2kg de béton dans l'air dans le récipient complet.
- Peser 2kg de béton dans l'eau dans le récipient complet. Eliminer toutes les bulles d'air (Agiter avec précaution). Eviter toute perte de ciment dans la cuve (brouillard de laitance).
- Peser petit récipient + Gravier dans l'eau
- Peser récipient moyen + sable dans l'eau, en suite prendre les deux récipients et leur contenu et se placer sous un robinet, et les laver afin de séparer sable et Gravier

Remarque

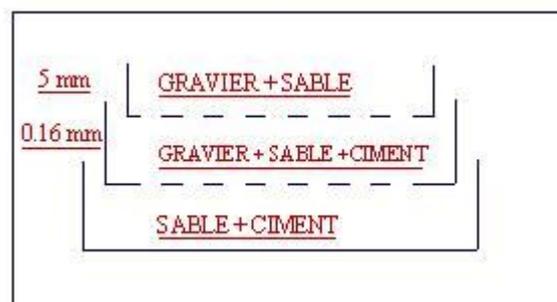
Précautions indispensables : éliminer les bulles d'air, veiller à ne pas perdre de ciment, obtenir une grande précision dans les pesées. Un operateur soigneux peut obtenir 5% de précision.

6- Correction des résultats

Le principe de l'analyse du béton frais que nous venons de voir est basé sur le fait que :

- Le gravier est entièrement retenu au tamis de 5mm
- Le sable est entièrement retenu au tamis de 0.16mm
- Le ciment passe entièrement au tamis de 0.16mm

Par contre en réalité on trouve sur les tamis :



- Protéger les armatures contre la corrosion et parfaitement adhérer a ces dernières
- L'imperméabilité
- Une bonne résistance mécanique
- Des faibles déformations volumique (retrait, fluage)

❖ Résistance mécanique :

La résistance mécanique peut être appréciée par différentes méthodes

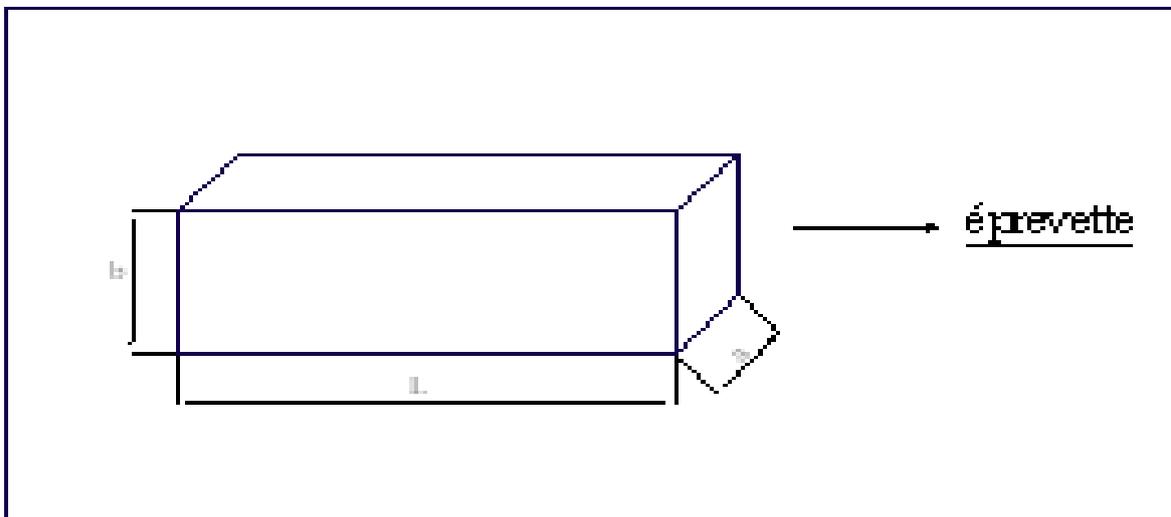
- Essais non destructif : scléromètre, ausculteur dynamique
- Essais non destructifs :
 - Essai de traction directe
 - Essai de traction par flexion
 - Essai de compression simple

❖ La vérification de l'emplacement des aciers, de leur diamètre et de l'épaisseur du béton qui les recouvre, sont appréciés a l'aide d'un appaillage de contrôle : **LE PACHOMETRE**

❖ Formulaire

- Traction par flexion
 - Flexion centrée : $T=(0,9.F.L)/b^3$
 - Sous moment constant : $T= (1,8.F).a^2$

Où : (a) largeur, (b) hauteur et (L) longueur de l'éprouvette



- Traction par fendage : $T= 2F/\pi DL$
- Compression simple : $T= F/S$
- Relation entre résistance à la traction et à la compression : $F_{tj}= 0,6+0,06F_{cj}$
- Relation entre résistance à (j) jour et à 28 jours :
 - Pour $j \leq 28$ on a : $F_{cj} = 0,685. F_{c28} \cdot \log (1+j)$
 - Pour $j > 28$ on a : $F_{cj} = 1,1 F_{c28}$. jusqu'à 90 jours

2.2 Scléromètre : (429,00 € HT)

* Le scléromètre SCHMIDT est un petit appareil qui permet de mesurer le rebondissement d'une masse métallique sur le béton ausculté. Il porte un ressort qui est mis en compression quand on appuie l'instrument sur la surface du béton et qui assure la percussion (*somme des forces au cours d'un choc fois la durée du choc*).



** Le scléromètre SCHMIDT modèle N (énergie de pression égale à 0,225Mkg) sert au contrôle dans les cas ordinaires de la construction de bâtiments.

*** Le chiffre indiqué par l'index après rebondissement sert à déterminer l'Indice Sclérométrique (**I.S.**)
 Plus le matériau est dur, plus fort est le rebondissement et donc plus grand est **I.S**

2.2.1 Essai au Scléromètre

Pour se rendre compte de la qualité effective du béton constituant un ouvrage, on cherche des moyens non destructifs de mesure. Parmi ces procédés d'auscultation, on utilise la mesure au scléromètre.

Cette mesure très rapide, est cependant entachée d'une certaine *dispersion*, donc il faut toujours considérer une valeur moyenne portant sur un nombre minimum de 10 mesures. Le scléromètre ne rend pas compte de la qualité du béton au-delà de 3cm².

Pour contrôler le bon fonctionnement du scléromètre, on se sert d'une enclume d'essai : l'appareil est étalonné pour mesurer en position horizontale, c.-à-d. pour examen des surfaces verticales (et instrument tenu perpendiculaire à la surface) : en cas d'utilisation sur des surfaces inclinées et horizontales, une correction doit être effectuée, à une table donnée.

2.2.2 Résistance à la compression.

Mr. Dreux a cité, quelques valeurs approximatives moyennes, reproduites ci-dessous, entre l'**I.S** et la résistance à la compression, et a établi une relation moyenne simple entre ces deux valeurs, soit :

• $F_{cj} = \frac{(I.S)^2}{3} - 2(I.S)$ avec F_{cj} la résistance donnée en bars et (**I.S**) indice sclérométrique

(I.S)	<20	20 à 30	30 à 40	40 à 50	> 50
F_{cj} en bars	<100	100 à 200	200 à 350	350 à 500	>500

N.B

Ne pas tenir compte des mesures qui correspondent à des anomalies, elles peuvent correspondre à des bulles d'air, à une usure du ressort de l'appareil.

ANNEXES