

## CHAPITRE 5: LES MORTIERS

### Présentation du chapitre 5

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

Dans ce chapitre, nous en présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait etc...

La section **Expériences** décrira les essais permettant de mesurer en laboratoire les caractéristiques du mortier présentées à la section précédente. Un essai nous permettra également de définir un mortier "normal".

Enfin, les **exercices** reprennent des questions pour tester vos connaissances sur les mortiers.

### 5.1 INTRODUCTION

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

- solidariser les éléments entre eux;
- assurer la stabilité de l'ouvrage;
- combler les interstices entre les blocs de construction.

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

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

Les mortiers peuvent être:

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

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

## 5.2 COMPOSITION

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

Les mortiers sont constitués par des mélanges de:

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

### **Les liants:**

Généralement, on peut utiliser:

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

### **Les sables:**

Normalement, les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les

grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être:

- naturels et roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico-calcaire;

- naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.

- spéciaux (lourds, réfractaires, légers):

- sable de laitier;
- sable d'oxydes de fer, de chromite;
- corindon;
- sable de briques concassées;
- liège torréfié;
- polystyrène expansé;
- vermiculite, perlite.

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

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire);
- fins: jusqu'à 1,6 mm;
- moyens: jusqu'à 3,15 mm;
- gros: jusqu'à 5 mm.

### **Les adjuvants:**

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

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

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

### **Les ajouts:**

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

- poudres fines pouzzolaniques (cendres, fumée de silice..);
- fibres de différentes natures;
- colorants (naturels ou synthétiques);
- polymères.

## **5.3 LES DIFFÉRENTS MORTIERS**

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

### *Les mortiers de ciment*

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

### *Les mortiers de chaux*

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

### *Les mortiers bâtards*

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

### **5.3.1 Mortiers fabriqués sur chantier**

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

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

Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables.

### **5.3.2 Mortier industriel**

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

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

Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié,
- mortiers d'imperméabilisation,
- mortier d'isolation thermique,
- mortier de jointoiement,
- mortier de ragréage,
- mortier de scellement, mortier pour chapes,
- mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.,
- mortier de réparation.

## 5.4 CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Les caractéristiques principales des mortiers sont:

- ouvrabilité;
- prise;
- résistances mécaniques;
- retrait et gonflements, etc.

Pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on prend souvent comme référence le mortier 1/3 composé en poids de: une partie de ciment et de 3 parties de sable normalisé dont les grains s'échelonnent de 80 microns à 2 mm et passent dans un fuseau bien déterminé (fig. 5.4.1) et 0,45 partie d'eau.

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

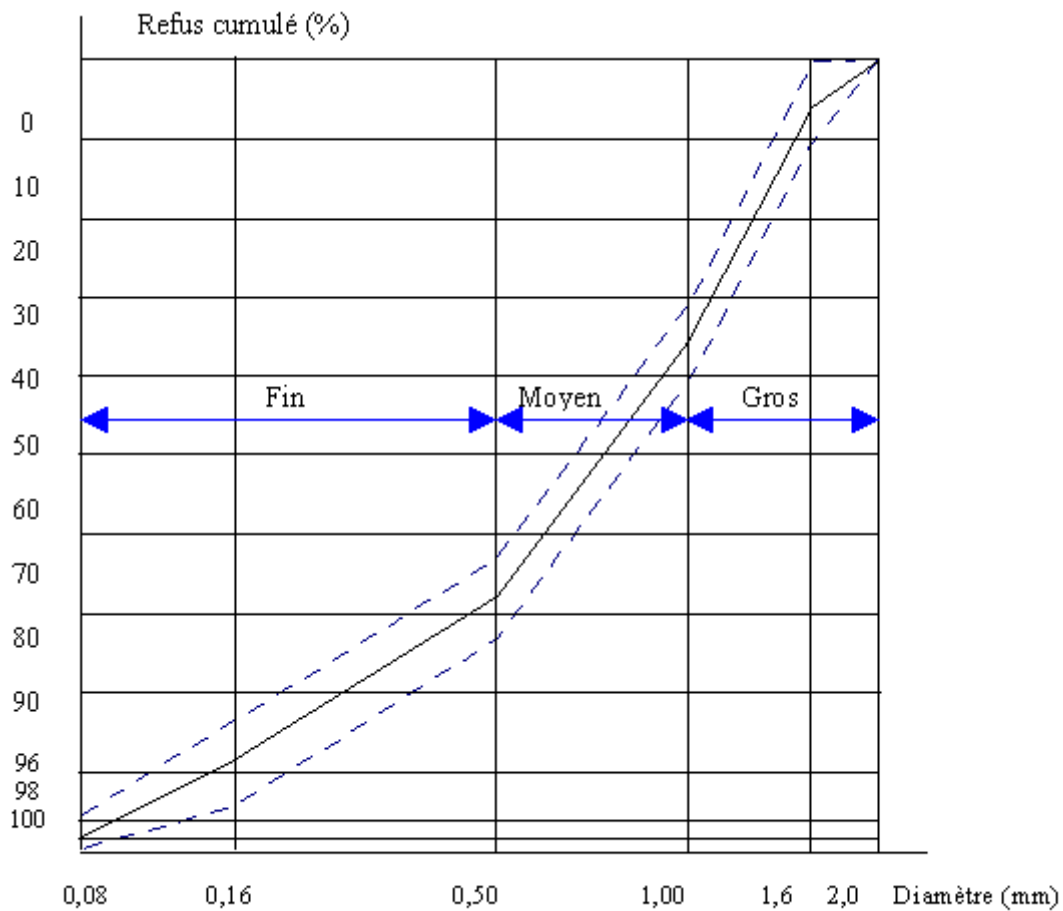


Fig. 5.4.1 : Courbe granulométrique du sable normalisé selon les normes Afnor

### 5.4.1 Ouvrabilité

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

#### *a) La table à secousses:*

Le mortier, après avoir été mis en place et démoulé d'un moule tronconique, reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

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

avec  $D_r$  = diamètre final et  $D_i$  = diamètre initial.

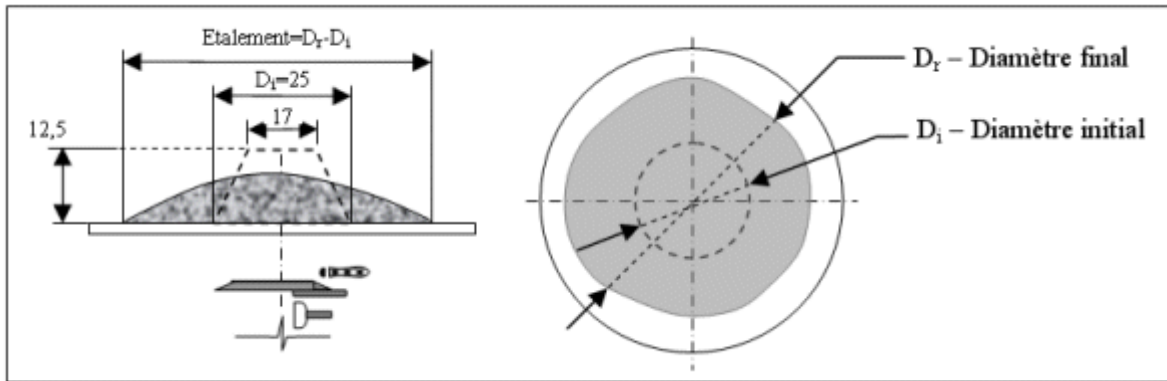


Fig. 5.4.2 : Table à secousses

**b) Le maniabilimètre du LCPC:**

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

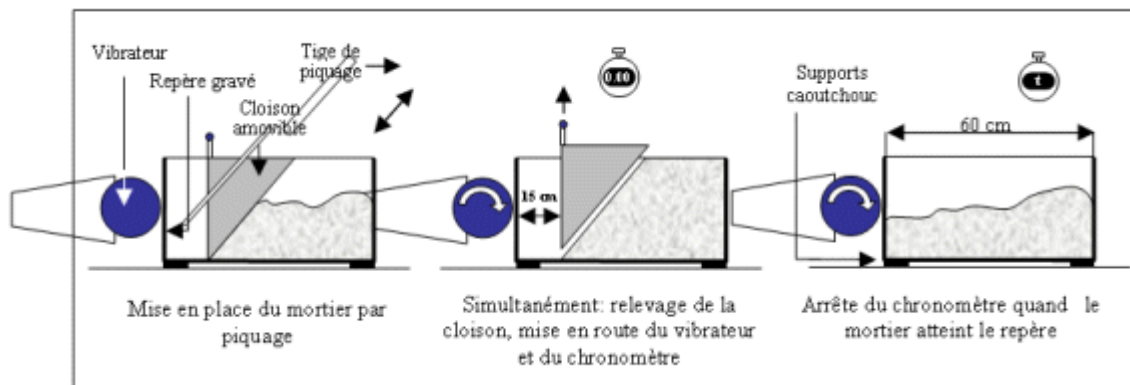


Fig. 5.4.3 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B

**c) Le cône:**

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur.

**5.4.2 Prise**

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes



sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur.

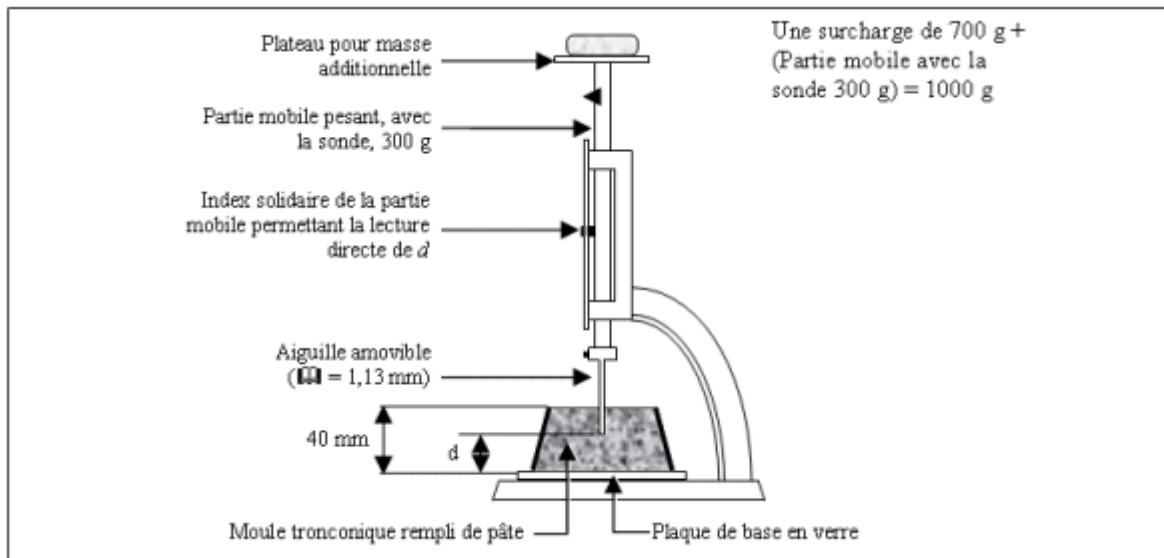


Fig. 5.4.4 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge

### 5.4.3 Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm conservés dans l'eau à 20 °C.

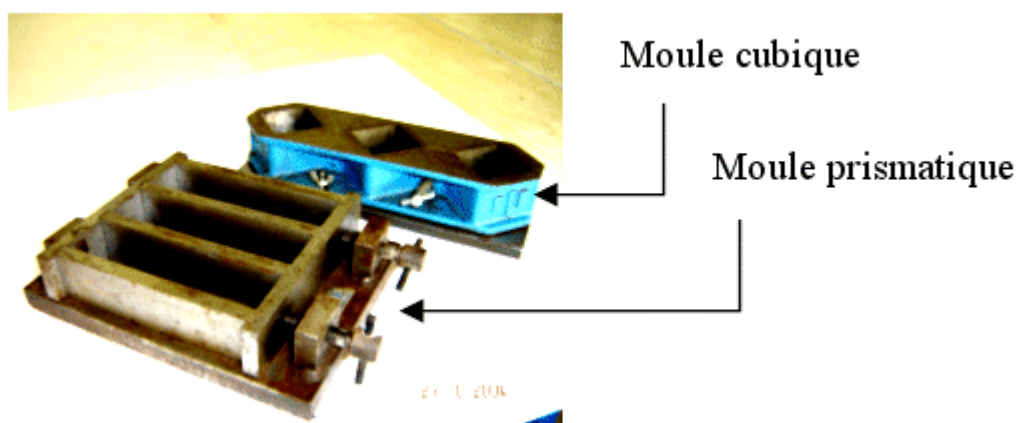


Fig. 5.4.5 : Moule pour moulage des éprouvettes de mortier

Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

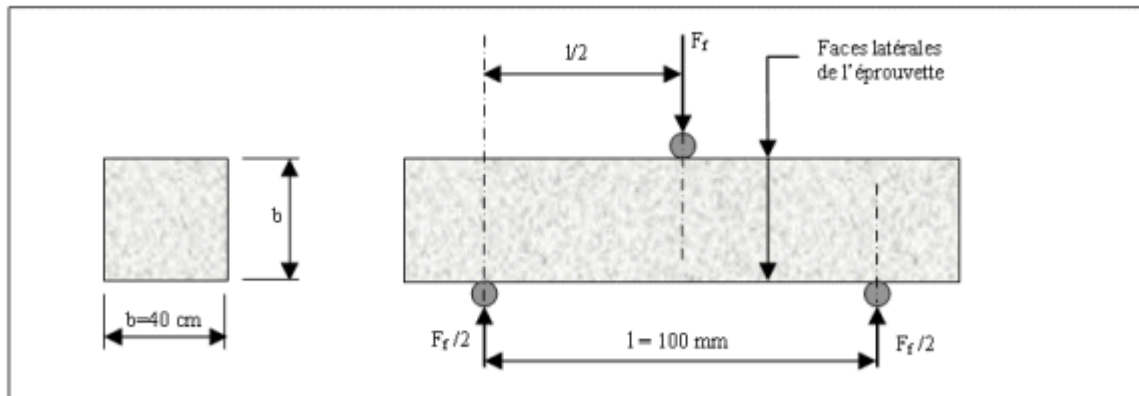


Fig. 5.4.6 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

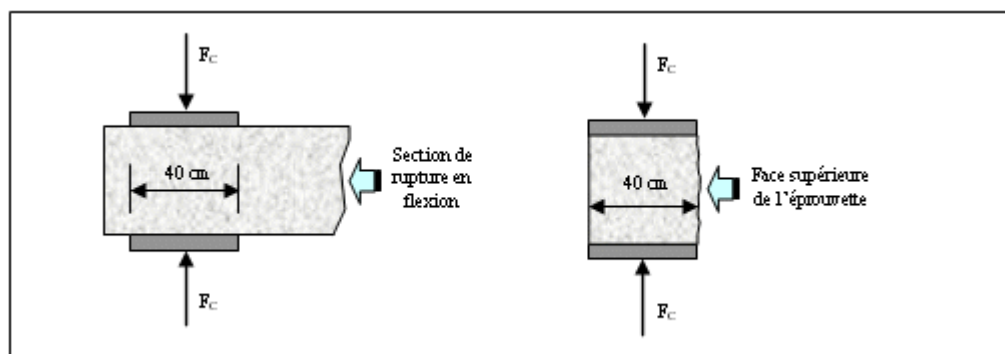


Fig. 5.4.7 : Dispositif de rupture en compression.

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

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

#### 5.4.4 Retraits et gonflements

Les retraits se mesurent sur des prismes 4 x 4 x 16 cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20 °C et à 50

% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment).

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4 x 4 x 16 cm conservées dans l'eau à 20 °C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Châtelier inférieure sur pâte pure à 10 mm).

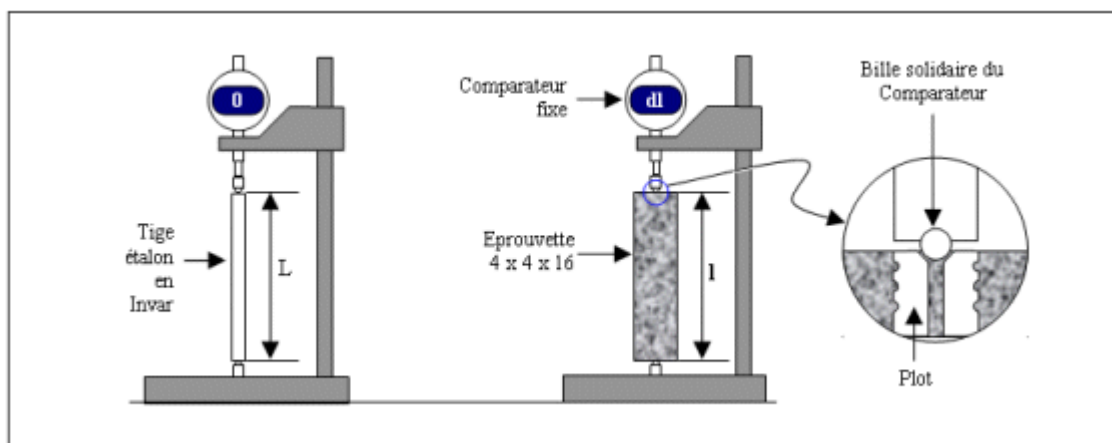


Fig. 5.4.8 : Appareillage pour la mesure du retrait

## 5.5. EXPÉRIENCES

### 5.5.1. DEFINITION DU MORTIER NORMAL (EN 196-1)

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme (pour déterminer la consistance de la pâte de ciment).

Le sable utilisé est un sable appelé "sable normalisé CECN EN 196-1", lui-même étant défini par rapport à un "sable de référence CEN". Ce sable est commercialisé en sac plastique de 1350 + 5g. sa courbe granulométrique doit se situer à l'intérieur du fuseau indiqué sur la figure 5.5.1

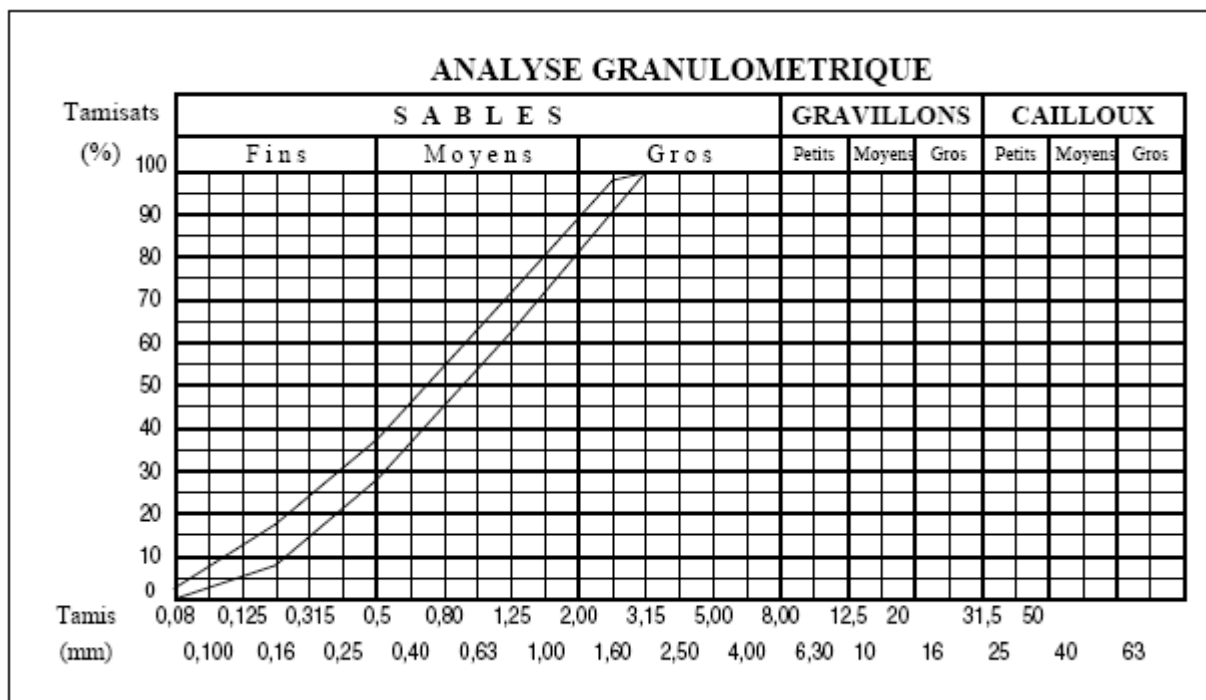


Fig. 5.5.1 : Composition granulométrique du sable de référence CEN

La composition du mortier à tester est le suivant :

- sable normalisé = 1350 g 65 g.
- ciment = 450 g 6 2 g.
- eau de gâchage = 225 g 6 1 g (le rapport de E/C est donc 0,50).

Avant d'être utilisé pour les différents essais de maniabilité, de prise, de résistance ou de retrait, on mélange la composition d'un mortier pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur ; y verser ensuite le ciment ; mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

- Après 30 s de malaxage, introduire régulièrement le sable pendant les 30 s suivants. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.

- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30s. Pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérant aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.

- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction de ciment		Introduction du sable		Raclage de la cuve		
Durée des opérations			30 s	30 s	30 s	15 s	1 min 15 s	60 s
Etat du malaxeur	Arrête		Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrête		Vitesse rapide

Tableau 5.1.1: Opération pour déterminer le mortier normal

### 5.5.2. Mesure de la consistance des mortiers ( NF P 18-452 et NF P15-437 )

#### *Objectif de l'essai*

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance ; c'est l'objet des essais définis par les normes NF P 18 - 452 et NF P 15 -437.

#### *Principe de l'essai*

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

#### *Equipement nécessaire*

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

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

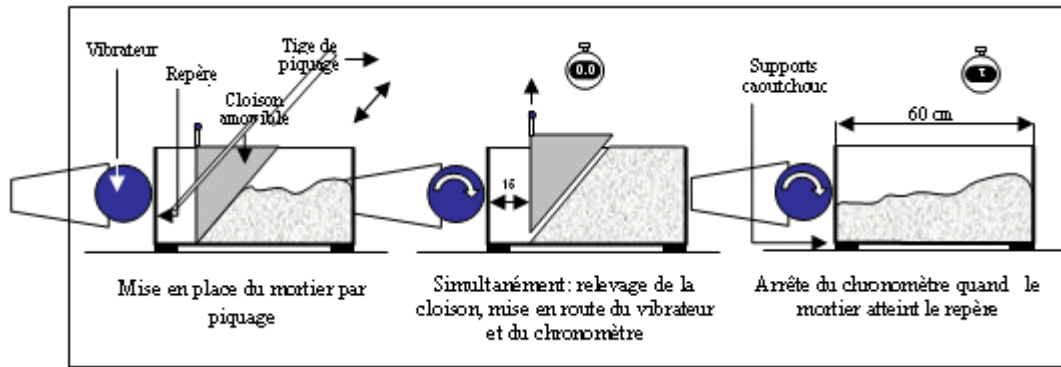


Fig. 5.5.1: Principe de fonctionnement du maniabilimètre B

### *Conduite de l'essai*

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



Fig. 5.5.3 : *Malaxeur normalisé pour pâte et mortier normal*

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

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

L'appareil utilisé est toujours l'appareil de Vicat, (Fig5.3.1), mais surchargé par une masse additionnelle de 700 g.  $(300+700) = 1000\text{g}$ . L'aiguille de 1,13mm de diamètre qui pénètre le mortier est alors soumis à une charge de 1000g. La procédure d'essai

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

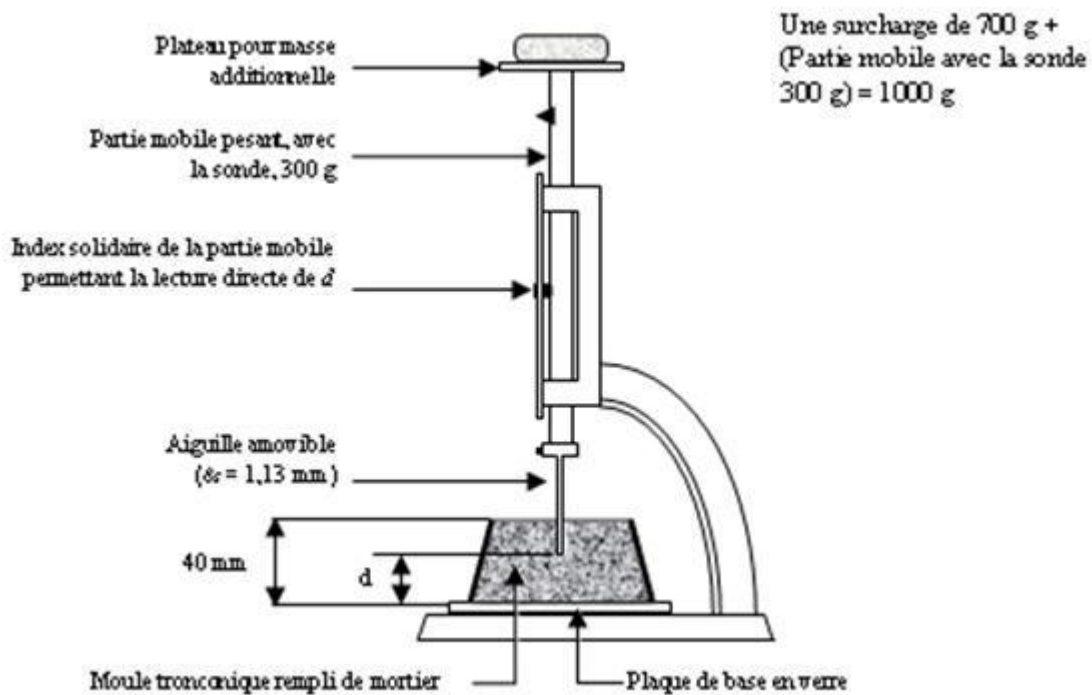
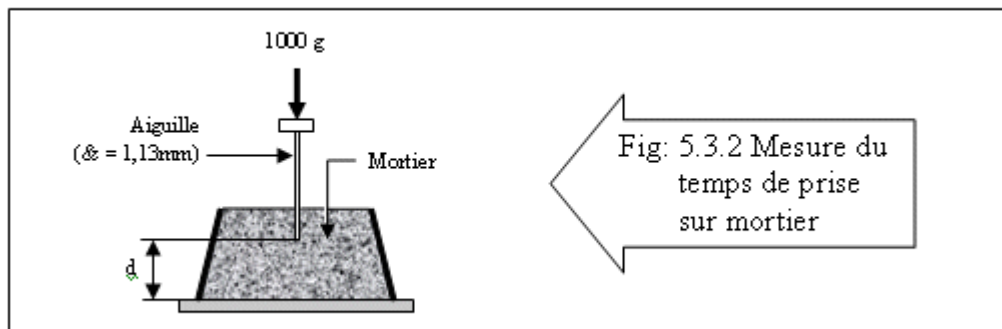


Fig. 5.3.1 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge



#### 5.5.4. Mesure des résistances à la compression et à la traction ( EN 196-1 )

##### *Objectif de l'essai*

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

### *Principe de l'essai*

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

### *Equipement nécessaire*

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

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

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

Un malaxeur normalisé (figure 5.5.3)

Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée  $4\text{cm} \times 4\text{cm}$  et de longueur 16cm ( ces éprouvettes sont appelés "éprouvettes  $4 \times 4 \times 16$ " ).

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

Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de  $50\text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$ . La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé sur la figure 5.6.

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



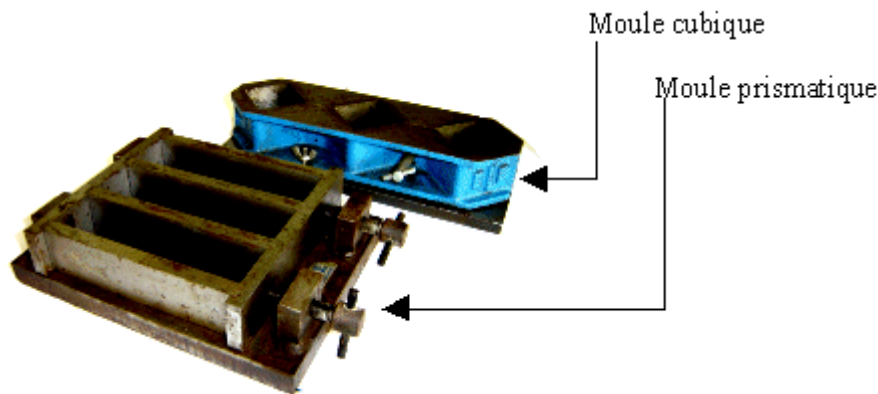


Fig. 5.4.1: Moules pour moulage des éprouvettes de mortier

### *Conduite de l'essai*

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

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

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

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours. Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous.

Age	24 h	48 h	72 h	7 j	~28 j
Précision	$\pm 15\text{ min}$	$\pm 30\text{ min}$	$\pm 45\text{ min}$	$\pm 2\text{ h}$	$\pm 8\text{ h}$

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la figure.

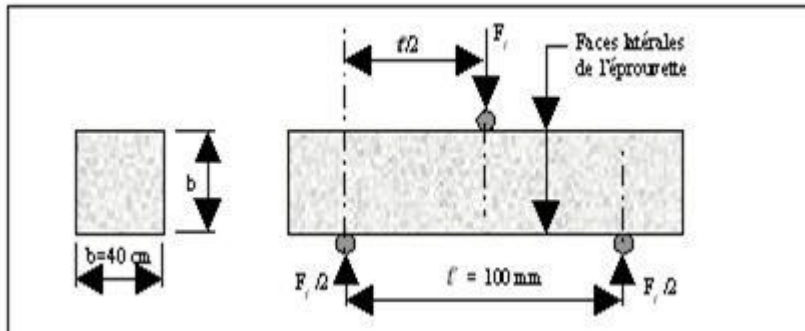


Fig 5.4.2: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Si  $F_f$  est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut  $F_f l/4$  et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{b^3}$$

Cette contrainte est appelé la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions  $b$  et  $l$ , Si  $F_f$  est exprimée en newtons (N), cette resistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$R_f \text{ (MPa)} = 0,234 F_f \text{ (N)}.$$

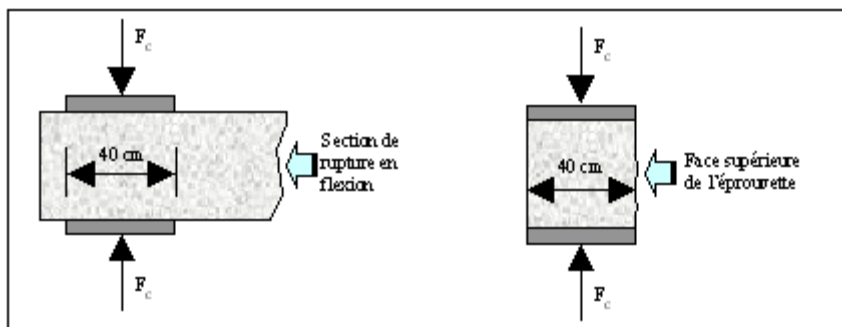


Fig. 5.4.3: Dispositif de rupture en compression.

Les demis-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiqué sur la figure 5.4.3. Si  $F_c$  est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

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

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si  $F_c$  est exprimée en newton, cette résistance exprimée en mégapascals vaut :

$$R_c(\text{MPa}) = \frac{F_c(N)}{1600}$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi-prismes sont arrondis à 0,1 MPa près et on en fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de  $\pm 10\%$  de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir des 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de  $\pm 10\%$  de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est écartée. Auquel cas il convient de chercher les raisons de cette dispersion : malaxage, mis en place, conversation ?

Lorsque le résultat est satisfaisant, la moyenne ainsi obtenue est la résistance du ciment à l'âge considéré.

### Résistance normale

La résistance dite résistance normale pour un ciment donné est la résistance ainsi mesurée à l'âge de 28 jours. C'est cette résistance qui définit la classe du ciment : si un ciment a, (à 28 jours), une résistance normale de 52 MPa, on dira que sa classe vraie est de 52 MPa.

#### **5.5.5. Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433)**

##### *Objectif de l'essai*

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

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

On compare, à différents temps  $t$ , la variation de longueur d'une éprouvette 4 x 4 x 16 cm, par rapport à sa longueur à un temps  $t_0$  pris pour origine.

##### *Equipement nécessaire*

Il est décrit dans la norme NF P 15-433.

Une salle maintenue à une température de  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  et à une humidité relative supérieure ou égale à  $50\% \pm 5\%$ .

Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  et  $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ . Un malaxeur normalisé (figure 5.5.3)

Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes  $4 \times 4 \times 16$  sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la figure 5.5.8.

Un déformètre (tel que celui schématisé sur la figure 5.5.8) équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à  $0,005\text{ mm}$ . Une tige de  $160\text{ mm}$  de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre. Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.

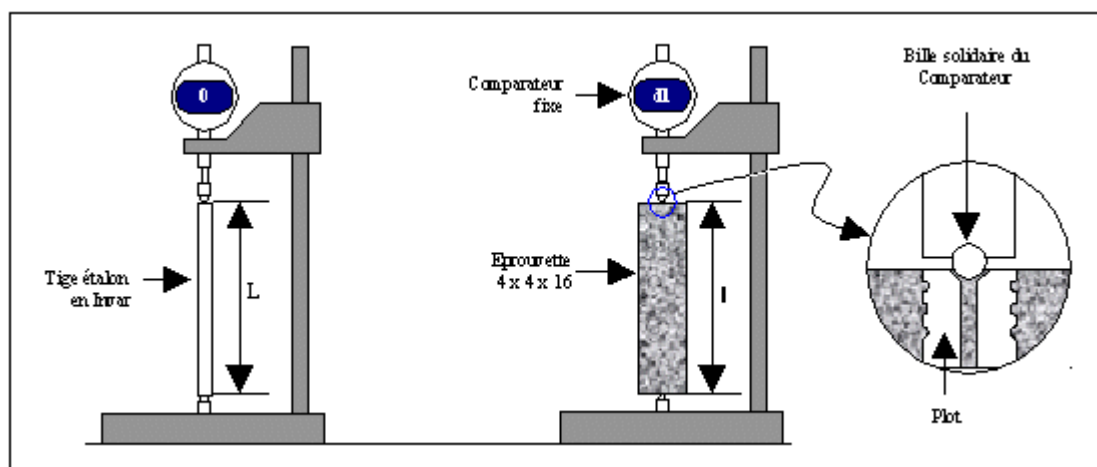


Fig 5.5.8 Appareillage pour la mesure du retrait

### *Conduite de l'essai*

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

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

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

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

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

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

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