



## TP 1 : DÉTERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU CIMENT

### Détermination des caractéristiques physiques du ciment



# 1. Introduction

« Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire, un matériau finement moulu, qui gâché (mêlé) avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et de processus d'hydratation. Après durcissement, le ciment conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Le ciment le plus couramment utilisé est le ciment Portland artificiel (CPA - CEM). Il résulte du broyage du clinker, obtenu par la cuisson à très haute température (à environ 1450 °C) d'un mélange approprié de calcaire (80 %) et d'argile (20 %) avec 5 % de gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) pour régulariser la prise. Les autres catégories de ciments sont obtenues par ajouts de constituants secondaires tels que le laitier de haut fourneau, les cendres volantes, les pouzzolanes, les fumées de silice, les schistes calcinées, ...

## 2. Détermination des caractéristiques physiques du ciment

Les principales caractéristiques physiques du ciment sont mesurées sur la poudre et la pâte de ciment.

- Sur la poudre : Masse volumique apparente, masse volumique absolue, finesse de mouture ou surface spécifique.
- Sur la pâte : Essai de consistance normalisée, essai de prise,

### 2.1. Mesure de la masse volumique apparente

#### 2.1.1. Principe de l'essai

Soit  $V$  le volume du ciment à analyser :

$$V = V_v + V_s \rightarrow \begin{cases} V_v = \text{volume des vides (air)} \\ V_s = \text{volume du solide} \end{cases}$$

La masse correspondante est :

$$M = M_v + M_s \rightarrow \begin{cases} M_v = \text{masse des vides} \approx 0 \\ M_s = \text{masse du solide} \end{cases}$$

Si  $V$  et  $M_s$  sont connus, la masse volumique apparente est :

$$\rho_{app} = \frac{M_s}{V}$$

#### 2.1.2. Matériel et matériau nécessaires

Pour effectuer cet essai, il faut :

- 1 entonnoir à tamis munis d'un opercule mobile monté sur un trépied (Fig.1c).

- 1 récipient de mesure calibré + 1 spatule + 1 règle rase + 1 balance.
- 2 kg de ciment.

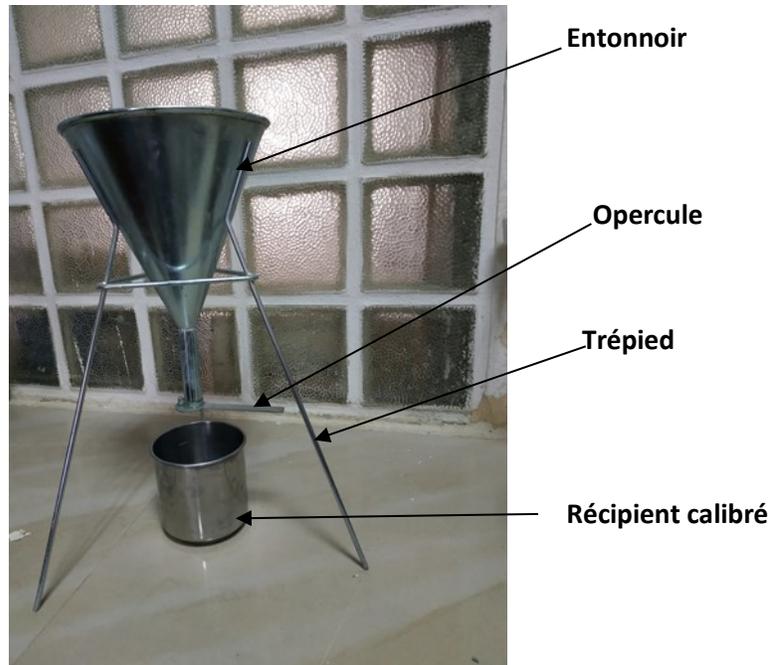


Figure 1c : Appareillage d'essai

### 2.1.3. Conduite de l'essai

- Prendre environ 1500 g de ciment.
- Passer cet échantillon dans un tamis de 1 mm de diamètre pour éliminer les grumeaux.
- Placer l'entonnoir au-dessus du récipient de mesure et fermer l'opercule.
- Verser 200 g de ciment dans la passoire et les faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule.
- Ouvrir l'opercule et le refermer quand l'entonnoir est vide.
- Recommencer cette opération jusqu'à remplir le récipient de mesure. Araser à la règle.
- Effectuer au moins trois essais pour limiter au maximum le risque d'erreur.
- Remplir le document réponse 1c préparé pour cette analyse et déterminer la masse volumique apparente en prenant la moyenne des 3 essais.

## 2.2. Mesure de la masse volumique absolue

La mesure de  $V_s$  (volume du solide) se fait en utilisant des méthodes indirectes. Le principe de ces méthodes consiste à mesurer le déplacement du niveau d'un liquide inerte contenu dans un récipient lorsqu'on y introduit une masse donnée de ciment. La variation du volume du liquide correspond au volume des grains de ciment. Pour ce faire, deux méthodes peuvent être utilisées :

- la méthode du volumétre (ou densimètre) Le Chatelier,
- la méthode des pesées : pycnomètre.

### 2.2.1. Méthode Le Chatelier

#### 2.2.1.1. Matériel nécessaire

L'appareil utilisé est le densimètre Le Chatelier (Fig.2c). Il s'agit d'un récipient composé d'un ballon surmonté d'un gonflement (de  $20 \text{ cm}^3$  environ), puis d'un col étroit gradué pour indiquer directement la variation du volume du liquide. Les graduations sont en dixième de  $\text{cm}^3$ . Le liquide utilisé peut être du benzène, de l'alcool à brûler ou tout autre liquide ne réagissant pas avec le ciment. Pour introduire le ciment dans le tube, il faut un entonnoir en verre, une tige en métal et une spatule.

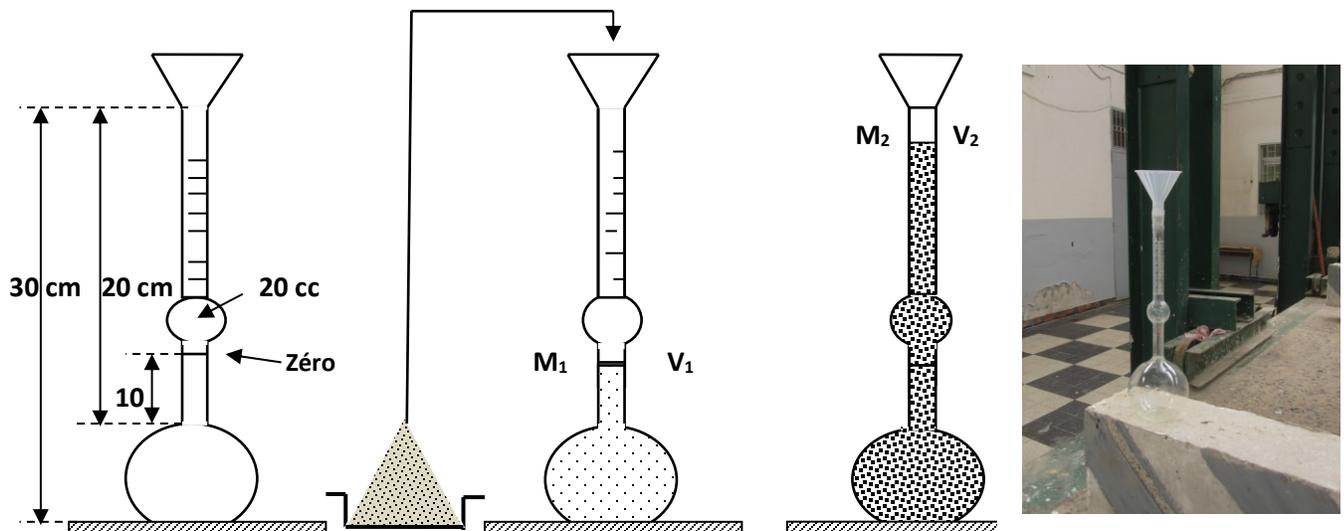


Figure 2c : Densimètre Le Chatelier

#### 2.2.1.2. Mode opératoire

1. Peser une quantité de ciment égale à :

- 64 g pour les ciments Portland artificiels dont la masse volumique est supérieure à  $3 \text{ t/m}^3$ .
- 60 g pour les ciments laitier.
- 57 g pour les ciments de masse volumique inférieure à  $2,7 \text{ t/m}^3$ .

2. Remplir le densimètre de liquide jusqu'au niveau zéro, soit  $V_1$ . Peser le tout :  $M_1$

3. Introduire à l'aide de la spatule la poudre de ciment très lentement tout en vérifiant qu'elle ne se bloque pas dans le tube du densimètre ou dans l'entonnoir placé à l'embouchure. Agiter doucement

en faisant tourner le densimètre pour chasser l'air entraîné par la poudre. Lorsqu'il ne se dégage plus d'air, lire sur la graduation le volume de ciment introduit :  $V_2$ . Peser le tout :  $M_2$

4. Reprendre l'essai : effectuer au moins deux fois l'ensemble du mode opératoire.

5. Calculer la masse volumique absolue moyenne du ciment :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{\text{Masse du ciment}}{\text{Volume déplacé}} = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1}$$

6. Remplir le document réponse 1c.

### Remarque

Il faut veiller à ce que les essais se déroulent à température voisine de  $(20 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ .

## 2.2.2. Méthode du pycnomètre ou méthode des pesées

### 2.2.2.1. Matériel nécessaire

La méthode du pycnomètre est plus longue et plus délicate, mais elle permet d'opérer sur un échantillon moins important.

Un pycnomètre est un flacon composé de deux éléments qui s'ajustent par l'intermédiaire d'un joint en verre rodé, à savoir (Fig.3c) :

- une fiole d'une capacité de  $50 \text{ cm}^3$  (pour les essais classiques),
- un bouchon percé par un tube très fin (capillaire).



Figure 3c : Pycnomètre

Une fois rempli, le pycnomètre rejette par le tube l'excédent du liquide de sorte que sa capacité reste toujours la même si la température reste constante. Il suffit alors de peser au moyen d'une balance de précision le pycnomètre avant et après le remplissage pour calculer la masse volumique de l'échantillon.

### 2.2.2.2. Principe de l'essai

Dans la méthode du pycnomètre, la masse volumique absolue d'un échantillon est déterminée par trois pesées :

1. La masse du pycnomètre rempli de liquide :

$$m_1 = m_{\text{pyc}} + m_{\text{liq}}$$

2. La masse de l'échantillon seul :

$$m_2 = m_{\text{éch}}$$

3. La masse du pycnomètre plein de liquide avec l'échantillon immergé :

$$m_3 = m_{\text{pyc}} + m_{\text{éch}} + m_{\text{liq}} - \Delta m_{\text{liq}}$$

$$\Delta m_{\text{liq}} = \rho_{\text{liq}} \times V_{\text{éch}} = \frac{\rho_{\text{liq}}}{\rho_{\text{éch}}} \times m_{\text{éch}}$$

$$\rho_{\text{éch}} = \frac{m_2}{m_2 + m_1 - m_3} \times \rho_{\text{liq}} = \rho_{\text{abs}}$$

### 2.2.2.3. Mode opératoire

1. Déterminer le volume intérieur utile du pycnomètre. Pour ce faire, il faut :

- Peser le pycnomètre vide préalablement nettoyé à l'eau distillée et séché (à l'aide d'une serviette). Noter la masse  $m'$
- Remplir le pycnomètre d'eau distillée jusqu'au repère, sécher le et peser. Noter la masse  $m''$ .

Le volume utile du pycnomètre est :

$$V = m'' - m'$$

2. Déterminer la masse volumique du liquide inerte vis-à-vis du ciment. Il faut :

- Remplir le pycnomètre de ce liquide comme pour l'eau distillée.
- Sécher le pycnomètre et le peser. Noter la masse  $m_1$ . La masse volumique du liquide utilisé est :

$$\rho_{\text{liq}} = \frac{m_1 - m'}{V}$$

3. Déterminer la masse volumique absolue du ciment  $\rho_{\text{abs}}$ . Il faut opérer ainsi :

- Vider le pycnomètre à moitié et y verser délicatement une masse  $m_2$  de 40 g de ciment.
- Agiter doucement en faisant tourner le pycnomètre afin d'éliminer l'air entraîné par la poudre.
- Compléter le niveau jusqu'au repère. Sécher le pycnomètre puis le peser. Noter la masse  $m_3$ .

La masse volumique absolue du ciment est :

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{m_2}{m_2 + m_1 - m_3} \times \rho_{\text{liq}}$$

4. Recommencer l'essai et déterminer la masse volumique en prenant la moyenne des deux mesures.

5. Remplir le document réponse 1c.

## 2.3. Mesure de la surface spécifique par la méthode de Blaine (NF EN 196-6)

### 2.3.1. Principe de la méthode

L'appareillage utilisé pour déterminer la finesse de mouture du ciment est appelé *perméabilimètre de Blaine* (Fig.4c). Il est composé d'une cellule cylindrique renfermant le ciment à tester et d'un manomètre constitué d'un tube en verre en forme de U équipé d'un robinet et d'une poire aspirante.

Le tube est rempli jusqu'à son repère inférieur (repère 4) d'un liquide manométrique (huile légère, de poids volumique  $\rho_{liq}$ ).

La cellule est munie d'une grille métallique à sa partie inférieure et d'un piston délimitant le volume  $V$  à sa partie supérieure.

Cette méthode permet de déterminer la finesse du ciment par perméabilité à l'air en mesurant le temps mis par un volume d'air donné pour traverser la couche de poudre amenée à une compacité fixée. Le ciment est placé dans une cellule dont le volume est limité par un piston ôté durant l'essai. *Plus la poudre est fine, plus la surface spécifique est importante, plus le temps mis pour la traverser est long.*

La finesse de mouture du ciment n'est pas mesurée directement mais par comparaison avec un ciment dont la surface massique et la masse volumique sont connues.



Figure 4c : Perméabilimètre de Blaine

### 2.3.2. Matériel et matériau nécessaires

Pour la mesure de la surface spécifique conformément à la norme NF EN 196-6, il faut :

- 1 perméabilimètre.
- 1 balance (précise à 0,001 g) + 1 chronomètre précis à 0,1 s près.
- 1 ciment étalon de surface spécifique  $S_{p0}$  et de masse volumique  $\rho_0$  connues.
- Du mercure pour déterminer le volume de la cellule.
- Des rondelles de papier filtre de diamètre égal à celui de la cellule.
- Un échantillon de ciment à analyser.

### 2.3.3. Calcul préliminaire

Avant de procéder à la mesure de la surface spécifique, il faut d'abord étalonner l'appareil à utiliser, c'est-à-dire, déterminer le volume utile de la cellule et la constante  $k$  de cet appareil.

Connaissant le volume utile de la cellule, il est facile de déterminer la masse de la poudre de ciment à introduire dans celle-ci. En effet, si  $V$  représente le volume apparent du lit de poudre, la masse du ciment à introduire sera égale à :

$$m = \rho_{\text{abs}} \times V \times (1 - n)$$

Où,

$$n : \text{porosité du lit de poudre} = \frac{V_V}{V}$$

$V_V$  : volume des vides intra granulaires

Le ciment utilisé doit être à porosité constante, proche de 0,5. Par conséquent, la masse des grains du lit de poudre est :

$$m = 0,5 \times \rho_{\text{abs}} \times V$$

Où,

$\rho_{\text{abs}}$  : masse volumique des grains

$V$  : volume utile de cellule de l'appareil de Blaine = 7,45 cm<sup>3</sup>

### 2.3.4. Mode opératoire

Pour réaliser l'essai, il faut :

- Placer la grille métallique au fond de la cellule, puis ajouter au moyen d'une tige adéquate une rondelle de papier filtre.
- Verser la quantité de ciment  $m$  préalablement calculée en vous aidant d'un entonnoir.
- Nivelier la couche supérieure de la poudre en secouant délicatement la cellule, ensuite placer une deuxième rondelle de papier filtre.
- Tasser au moyen du piston, puis ôter-le en effectuant une légère rotation.

- Vérifier le niveau du liquide manométrique (repère 4).
- Placer la cellule badigeonnée de vaseline sur son ajustage et vérifier l'étanchéité de l'ensemble.
- Aspirer lentement le liquide jusqu'au repère 1 et fermer le robinet d'aspiration : l'air traverse la couche de ciment (la face supérieure de la cellule étant au contact de l'air, et sous l'effet de la différence de pression, l'air s'écoule à travers la poudre).
- Mettre en marche le chronomètre quand le niveau du liquide atteint le repère 2.
- Noter au 1/5 de seconde près le temps mis par le niveau du liquide pour passer du repère 2 au repère 3.
- Relever la température de la pièce où se déroule l'essai pour en déduire la valeur de la viscosité de l'air.
- Refaire l'essai trois fois de suite et prendre la moyenne des 3 temps.
- Calculer la surface spécifique à l'aide de la formule suivante :

$$S_p = \frac{k}{\rho_{abs}} \times \frac{\sqrt{n^3}}{(1-n)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1 \eta}}$$

Où,

$S_p$  : surface spécifique (cm<sup>2</sup>/g)

k : constante de l'appareil = 12

$\rho_{abs}$  : masse volumique des grains du lit de poudre (g/cm<sup>3</sup>)

n : porosité du lit de poudre = 0,5

t : temps (secondes)

$\eta$  : viscosité de l'air à la température d'essai (en poises)

## 2.4. Essai de consistance normalisée sur la pâte de ciment

### 2.4.1. But de l'essai

Il s'agit de déterminer la quantité d'eau de gâchage optimale pour obtenir une pâte de consistance normalisée. Cette consistance plastique est définie par convention (NF EN 196-3 et NF P 15-473). Elle est mesurée par l'appareil Vicat. Ce dernier est équipé à cet effet d'une sonde de 10 mm de diamètre insérée dans le porte-aiguille.

La pâte obtenue après malaxage de ciment et d'eau (conformément à la norme EN 196-3) est placée dans la coupelle de l'appareil. La sonde est alors descendue jusqu'à être en contact avec la pâte, puis lâchée. Sous l'action de son poids, elle pénètre dans la pâte sur une profondeur dépendant de la

consistance. La pâte est considérée de consistance normalisée (selon la norme NF EN 196-3) quand la sonde pénètre dans la pâte jusqu'à une profondeur de  $(6 \pm 1)$  mm à partir du fond du moule.

Une pâte de ciment avec une consistance normalisée est utilisée pour déterminer les temps de début et de fin de prise. La teneur en eau de cette pâte est exprimée en pourcentage de la masse de ciment sec, les valeurs étant généralement comprises entre 26 et 33 %.

### 2.4.2. Matériel nécessaire

Pour préparer une pâte de consistance normalisée, il faut :

- 1 appareil Vicat (Fig.5c).
- 1 moule tronconique + fond de moule (plaque en verre).
- 1 sonde de consistance (diamètre = 10 mm et longueur = 50 mm).
- 1 truelle + 1 main écope + bacs en plastique + éprouvettes graduées.
- 1 chronomètre + 1 balance (précision 1 g).
- 1 malaxeur.

Avant de procéder aux essais, il faut veiller à nettoyer et sécher tous les instruments (cuve du malaxeur, bacs, éprouvettes, etc.).

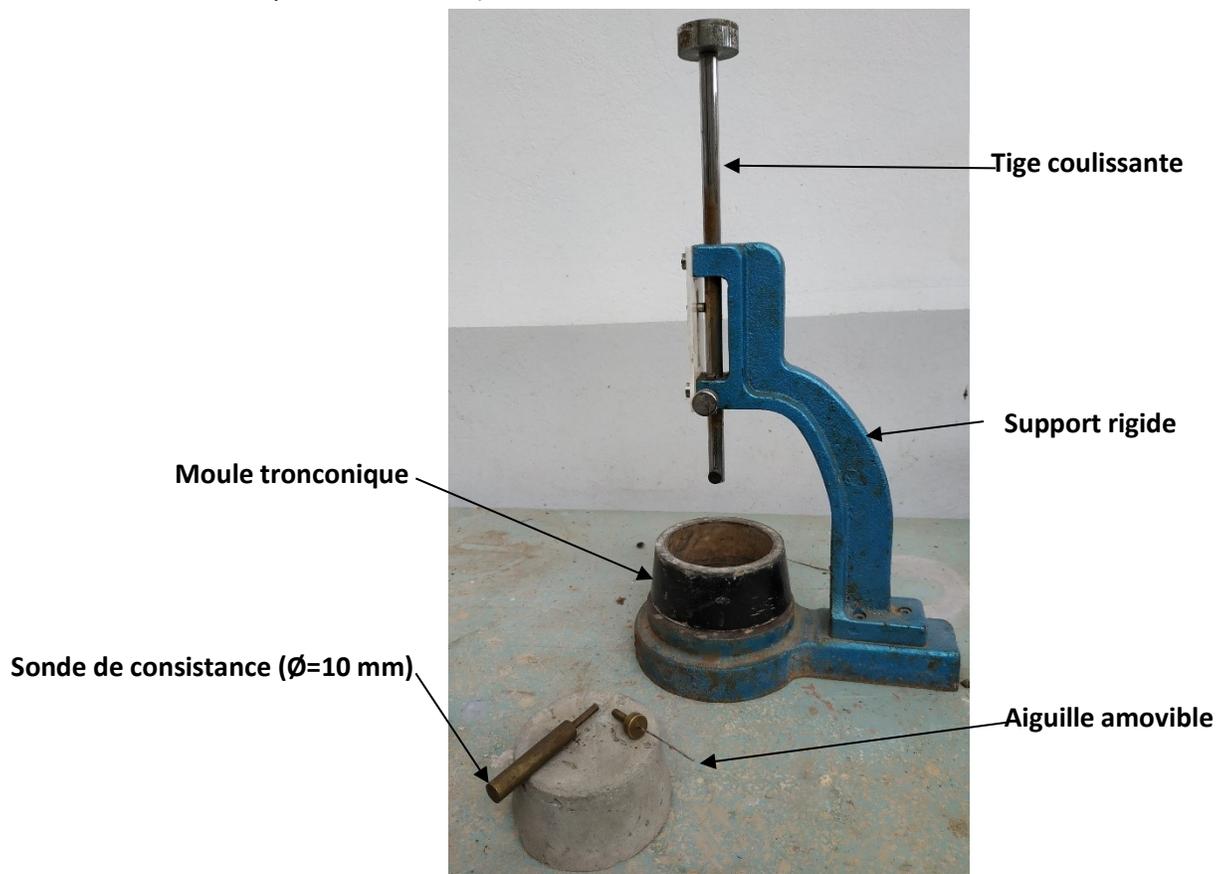


Figure 5c : Appareil Vicat

### 2.4.3. Mode opératoire

Pour la vérification de la consistance d'une pâte de ciment, il faut :

- Introduire une quantité d'eau dans la cuve du malaxeur en partant de  $E/C = 0,15$ .
- Ajouter 500 g de ciment dans un laps de temps compris entre 5 et 10 s (Tab.1c).
- Noter la fin de cette opération comme temps ZERO.
- Mettre le malaxeur en marche pour une durée égale à 90 secondes avec une vitesse lente.
- Arrêter le malaxeur pendant une durée de 15 s pour racler les parois de la cuve (ramener la pâte collée dans la gâchée).
- Remettre le malaxeur en route pendant 90 s à vitesse lente.
- Introduire rapidement la pâte dans le moule tronconique placé sur une plaque de verre sans tassement excessif.
- En vous aidant d'une truelle, enlever délicatement l'excès de pâte.
- Placer le moule et la plaque de base dans l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat.
- Amener la sonde avec précaution à la surface de la pâte.
- 4 minutes après le temps zéro, lâcher la sonde sur la pâte.
- Après 30 s d'attente, mesurer la distance  $d$  séparant l'extrémité de la sonde de la plaque de base. Si  $d = (6 \pm 1)$  mm, la pâte est de consistance normalisée.

Dans le cas contraire où  $d \neq (6 \pm 1)$  mm, il faut :

- Vider la pâte de ciment dans un bac en plastique et jeter son contenu dans un endroit approprié.
- Renouveler l'opération avec un rapport E/C différent (en augmentant à chaque fois E/C de 0,05) jusqu'à atteindre la consistance désirée.
- Remplir le document réponse 2c.

Tableau 1.c : Préparation de la pâte de ciment (EN 196-3)

Opérations	Introduction de l'eau	Introduction du ciment	Malaxage	Raclage de la cuve	Malaxage
Durées		5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
Etat du malaxeur	Arrêt		Vitesse lente	Arrêt	Vitesse lente

## 2.5. Essai de prise sur la pâte de ciment

### 2.5.1. But de l'essai

L'appareillage utilisé pour l'essai de prise est identique au précédent à l'exception de la sonde qui est remplacée par l'aiguille de Vicat : c'est une aiguille cylindrique lisse, de diamètre  $\varnothing 1,13$  mm, pesant 300 g (poids de l'appareillage mobile compris).

Il s'agit de mesurer l'enfoncement de l'aiguille dans une pâte de ciment contenue dans un moule tronconique. Par convention, la prise débute au moment où l'aiguille, amenée avec précaution à la surface de la pâte, s'arrête à une distance  $d = (4 \pm 1)$  mm par rapport au fond du moule. Quant à la fin de prise, elle a lieu lorsque l'aiguille, équipée d'un accessoire annulaire, ne s'enfonce que de 0,5 mm par rapport à la surface supérieure du moule.

### Remarque

Lorsque l'on doit connaître le temps de fin prise et qu'aucun résultat n'est disponible, on peut s'appuyer sur le fait que pour la majorité des ciments Portland ordinaires à prise rapide, les temps de début et de fin de prise à température ambiante sont liés à peu près par la relation suivante :

$$\text{Temps de prise finale (min)} = 90 + \frac{1}{2} \times \text{temps de début de prise en minutes}$$

### 2.5.2. Matériel nécessaire

Pour la détermination du temps de prise, il faut :

- Appareil de Vicat.
- 1 aiguille de début de prise :  $\varnothing 1,13/L50$ .
- 1 aiguille de fin de prise équipée d'un accessoire annulaire.
- 1 malaxeur muni d'une cuve de 5 litres et d'une pale tournant à plusieurs vitesses (lente  $\approx 140$  tr/mn, moyenne  $\approx 200$  tr/mn, rapide  $\approx 285$  tr/mn).
- 2 moules tronconiques de Vicat + fonds de moule (plaque de verre).
- Eprouvettes graduées en plastique + bacs en plastiques + 1 spatule.
- 1 chronomètre + 1 balance de 5 kg (précision 1 g) + 1 thermomètre.

### 2.5.3. Mode opératoire

Pour cet essai, il faut opérer sur deux échantillons de ciment. En outre, la température de la salle des essais doit être proche de  $(20 \pm 1)$  °C.

#### 2.5.3.1. Préparation de la pâte de ciment

La pâte de ciment est préparée comme pour l'essai de consistance en introduisant la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance normalisée.

En pratique pour terminer à temps les essais de prise, il est recommandé de commencer ces derniers avant l'essai de consistance en prenant un rapport E/C égal à 0,28.

### 2.5.3.2. Evaluation du temps de début de prise

Pour cette estimation, il faut conduire (pour les deux échantillons de ciment) l'essai comme ce qui suit :

- Introduire rapidement la pâte malaxée dans le moule tronconique.
- Régler le zéro de l'appareil puis placer le moule et la plaque de verre dans l'axe de l'aiguille de l'appareil.
- Amener délicatement l'aiguille à la surface de l'échantillon.
- Lâcher l'aiguille sur la pâte et noter cet instant comme temps ZERO.
- Noter la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base en verre. Si l'arrêt de l'aiguille se produit à moins de  $(4 \pm 1)$  mm du fond du moule, alors la prise n'a pas commencé. Il faut recommencer l'opération sur le même échantillon à des intervalles de temps convenablement espacés (par exemple tous les 10 mn) jusqu'à ce que  $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  (il faut nettoyer l'aiguille après chaque essai).
- Noter le temps de début prise (à partir du temps ZERO).

#### Remarque

En répétant les essais, il faut placer l'aiguille à plus de 10 mm des bords du moule et à plus de 10 mm des impacts des essais précédents.

### 2.5.3.3. Evaluation du temps de fin de prise

Lorsque la prise commence, il faut noter, à intervalle de temps régulier, les valeurs de l'enfoncement de l'aiguille jusqu'à ce que celui-ci ne dépasse pas 0,5 cm. À ce moment, on doit :

- Remplacer l'aiguille  $\varnothing 1,13$  mm par la sonde spéciale (aiguille avec accessoire annulaire facilitant l'observation précise des faibles pénétrations).
- Retourner le moule tronconique de sorte que les essais de fin prise se fassent sur la face du moule dernièrement en contact avec la plaque de verre.
- Placer le moule retourné et la plaque de verre dans l'axe de la sonde de l'appareil.
- Amener avec précaution la sonde spéciale à la surface de la pâte, puis relâcher la.
- Observer la trace laissée de l'annulaire sur la pâte : si l'arrêt se produit à moins de 0,5 mm du haut du moule, la prise est terminée et la phase de durcissement commence. Le temps de fin de prise est celui où l'accessoire annulaire cesse de laisser une trace sur l'éprouvette.
- Nettoyer l'aiguille et l'annulaire après chaque pénétration.

- Renouveler la mesure de  $d$  toutes les 20 à 30 minutes jusqu'à obtention du résultat escompté.
- Noter la fin de prise (à partir du temps ZERO).
- Remplir le document réponse 2c et tracer pour les deux échantillons la courbe  $d = f(t)$  ( $d =$  enfoncement et  $t =$  temps).
- Comparer les courbes obtenues pour chaque pâte.

# MESURE DES MASSES VOLUMIQUES

## DOCUMENT REPONSE 1c

### Masse volumique d'un ciment

#### Masse volumique apparente

Mesure	1	2	3
Volume du récipient : $V$ (cm <sup>3</sup> )			
Masse du récipient vide : $m_1$ (g)			
Masse du récipient plein : $m_2$ (g)			
Masse de l'échantillon : $m$ (g)			
Masse volumique apparente : $\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )			
$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )			

#### Masse volumique absolue par la méthode du volumétre Le Chatelier

Mesure	1	2	3
Volume du densimètre rempli de liquide (niveau zéro) : $V_1$ (cm <sup>3</sup> )			
Masse du densimètre rempli de liquide (niveau zéro) : $M_1$ (g)			
Volume du liquide + échantillon : $V_2$ (cm <sup>3</sup> )			
Masse du densimètre + liquide + échantillon : $M_2$ (g)			
Masse volumique absolue : $\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> ) = $(M_2 - M_1)/(V_2 - V_1)$			
$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )			

#### Masse volumique absolue par la méthode du pycnomètre

Mesure	1	2	3
Masse du pycnomètre plein de liquide : $m_1$ (g)			
Masse de l'échantillon seul : $m_2$ (g)			
Masse du pycnomètre plein de liquide avec l'échantillon : $m_3$ (g)			
Masse de liquide chassé (g) : $\Delta m_{liq}$ (g)			
Volume absolu : $V_{ech}$ (cm <sup>3</sup> )			
Masse volumique absolue de l'échantillon : $\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )			
$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )			

# ETUDE DE LA REACTIVITE DU CIMENT

## DOCUMENT REponse 2c

### Essai de consistance normalisée

Nature du ciment					
E/C	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
C (g)					
E (g)					
Index (mm)					

### Essai de prise

Echantillon 1		
Début de prise		
Heure de malaxage (origine des temps) :		
Température :		
Heure	Temps	Index

Fin de prise

Echantillon 2		
Début de prise		
Heure de malaxage (origine des temps) :		
Température :		
Heure	Temps	Index

Fin de prise