

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le ciment, et le mortier dans toutes les étapes, pour connaître l'effet des ajouts minéraux (les fillers de calcite) sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers confectionnés à base de ciment portland composé (C.P.J CEMII/A 42,5R).

Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- ❖ Laboratoire L.T.P .O. Unité de TIARET et de BECHAR
- ❖ Laboratoire de département de Génie Civil, Université IBN KHALDOUNE TIARET

III.2. Caractéristiques des matériaux :

La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants .Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certains interprétation ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés.

III.3. Le ciment :

Le ciment utilisée, est un ciment portland composé CPJ CEM II /A 42.5, commercialisé Et fabriqué, par la cimenterie D'ACC (Algériens company cement), conforme à la norme NA 442, il est livré dans des sacs de 50kg. (voire l'annexe)

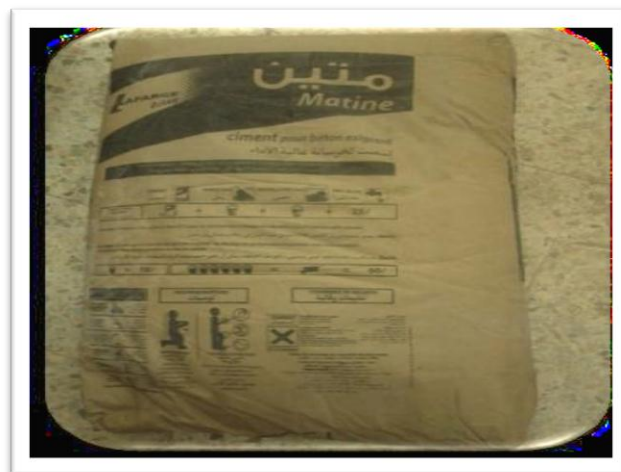


Figure. III.1: Ciment CPJ II/A 42.5 (matine)

III.3.1. Caractéristiques physiques des pâtes de ciment :

Notre ciment présente des caractéristiques physiques conformément à la norme NA442 et la norme EN197-1[19]. Pour cela des essais sélectionnés pour la durabilité et les résistances mécaniques permettent de mesurer quelque caractère important des pâtes de ciments :

A savoir :

- La consistance normale(E/C) (la norme NF-EN196-3) [46].
- La prise (norme NF- EN196-3) [46].

III.3.1.1. La consistance normale (E/C) (Norme : NF. P15 -358) : [47]

La pâte de ciment est essentiellement constituée d'eau et de ciment, vis-à-vis de ces deux éléments sa composition est définie par le rapport E/C. Dans ce rapport E et C représentent les concentrations d'eau et de ciment exprimées en masse pour un volume unité de pâte.

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Un essai normalisé permet d'apprécier cette consistance :

L'essai de consistance effectué avec l'appareil de Vicat conformément à la norme EN196-3, la consistance est évalué ici en mesurant L'enfoncement, dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est plus fluide.la consistance évaluée de cette manière sera appelée

« Consistance Vicat ».

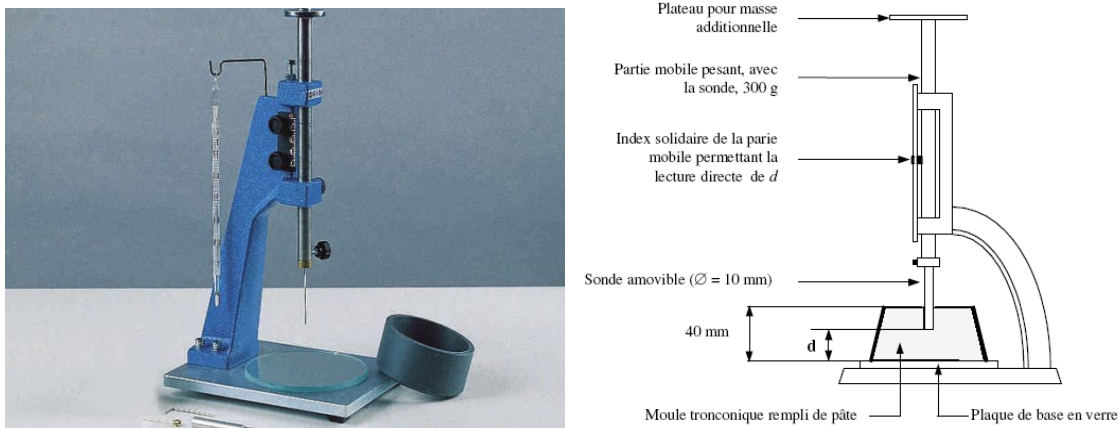


Figure. III.2 : appareil de Vicat.

La distance (d) caractérise l'aptitude de la consistance de la pâte étudiée.

- Si (d) = $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée, (Consistance normalisée).
- Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d. $d > 7\text{mm}$ ou $d < 5\text{mm}$), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

III.1.1.2. L'essai de prise :

Dès que le ciment anhydre a été mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés de la pâte ainsi obtenue sont évolutives dans le temps. Tant que cette hydratation n'est pas trop avancée la pâte reste plus ou moins malléable, ce qui permet de lui faire épouser par moulage la forme désirée. Mais au bout d'un certain temps, les cristaux d'hydrates prenant de plus en plus d'importance, le mélange a changé de viscosité et se raidit, on dit qu'il se fait priser.

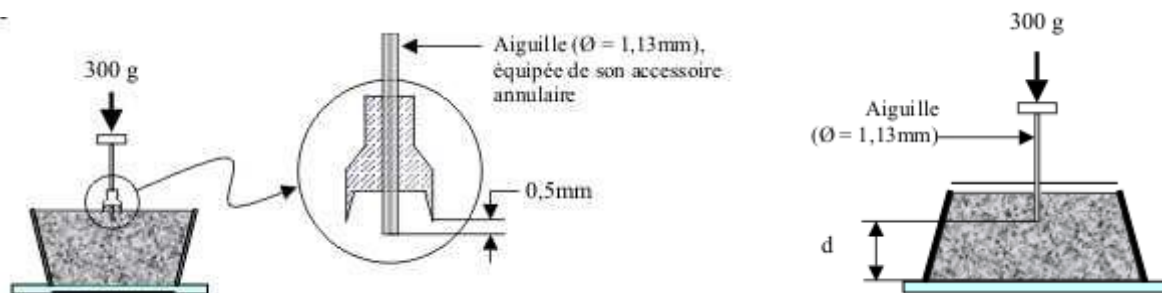


Figure. III. 3 : Détermination du temps de prise.

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment selon la norme NF P15-473[48].

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm dans l'anneau.

III.4. Le sable :

Le sable utilisé dans cette mémoire c'est le sable de guelta

III.4.1. Les essais sur le sable :

III.4.1.1. Analyse granulométrique:

On peut définir l'analyse granulométrique par tamisage c'est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

➤ **But de l'essai :**

L'analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

➤ **L'analyse granulométrique a trois buts :**

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- En déduire le Module de finesse (M f).

➤ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

➤ **Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure (III.5)). La dimension nominale de tamis se suit dans une progression géométrique de raison.

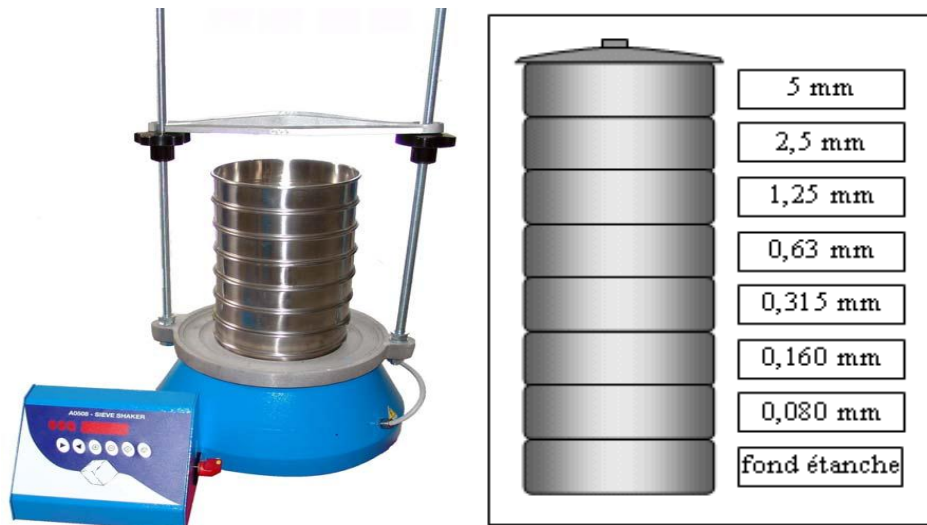


Figure. III.4: les tamis d'analyse granulométrique.

III.4.1.2. Module de finesse (M f) :

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à mortier doit avoir un module de finesse M f compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le mortier perd en ouvrabilité.

- Pour $1,8 < M f < 2,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2,2 < M f < 2,8$: le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour $2,8 < M f < 3,2$: le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour $M f > 3,2$: le sable est à rejeter.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540).

$$M f = \Sigma R C / 100$$

R c : refus cumulé en (%) sous les tamis de module 23 à 38.

III.4.1.3. Équivalent de sable (la norme NF P 18 -598) : [49]

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fin qui flocculent.

➤ But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers .une procédure normalisé permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

➤ Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'élément fins.

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

Hauteur h1 : sable propre +élément fins,

Hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

$$E_s = (h_2/h_1) \times 100$$



Figure. III.5 : Essais d'équivalent de sable.



Figure. III.6 : l'étuve.



Figure. III.7 : Machine d'agitation E.S.

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

Tableau. III.1 : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
65% ≤ ES < 75%	60% ≤ ES < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% ≤ ES < 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES ≥ 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

III.4.1.4. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en

t/m³, en kg/dm³, ou en g/cm³.

➤ **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaire malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

➤ **Conduite de l'essai :**

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M_s de granulats (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est alors :

$$\rho_s = M_{\text{mat}} / V_{\text{absolu}}$$



Figure. III.8 : L'éprouvette.

III.4.1.5. La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

$$\rho_{A_{pp}} = M_{\text{mat}} / V_{A_{pp}}$$



Figure. III. 9: Essai de la masse volumique apparente.

III.4.1.6. Analyse chimique :

La matière étant constituée en général de plusieurs composés chimiques. (Les insolubles, la teneur en sulfate, en chlorure, carbonate, matière organique.....etc.). La composition chimique d'un produit fournit la quantité ou la proportion de chacun des composés qui le composent .cette composition chimique se détermine par des analyses chimiques ou physico-chimiques.

1) Essai de détermination des insolubles (Norme NFP 15-461) : [50]

➤ Mode opératoire :

1. Opérer sur 1g d'échantillon.
2. Mettre 1g dans un érlen à 250 ml
3. Ajouter 100ml Hcl à 10%
4. Bouillir doucement 4à5 minute
5. Refroidissement 15 minute
6. Filtration dans un papier filtre
7. Prendre le filtrat et ajuster jusqu'au 250 ml avec l'eau distillée puis agiter le filtrat.
8. Prendre 100ml de filtrat dans un érlen
9. Ajouter 10ml de Bacl₂ à 5%
10. Bouillir doucement 4à 5 minutes puis refroidissement 15 minute
11. Filtration de la solution par un papier filtre

12. Peser un creuset vide p1.
13. Mettre le papier filtre dans le creuset
14. Calcination des creusets +le papier filtre à 900°C pendant 15 minutes
15. Peser le creuset après calcination P2.

Puis on calcule les insolubles et les sulfates par la formule suivante :

Teneur pour cent en $SO_3^- = 34,3 \frac{(2 - 1)3}{0}$

Teneur pour cent en $Ca SO_4 = 184,23 \frac{((2 - 1) 3)}{0}$

2) Essai de détermination du taux de carbonate d'un sable (Norme NFP 15-461: [50])

On détermine le taux de carbonates d'un sable pour déterminer le taux de calcaire. Une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

➤ Mode opératoire :

1. Opérer sur 0.5g d'échantillon
2. Mettre 0.5 dans un érlen à 250 ml
3. Ajouter 10ml Hcl à 10%
4. Ajouter 2à3gouttes de phénol phtaléine(0,1).
5. Remplir la burette d'hydroxyde de sodium NaOH
6. Bouillir doucement 4à5 minute, en parallèlement Faire chuter le NAOH jusqu'au atteint la couleur Roze

Puis en calcule le taux de carbonates par la formule suivante:

Chapitre II Méthodes d'essais et matériaux utilisés

Teneur pour cent en $CaCO_3\% = 6.7$

Volume d'acide réagissant $X=V_a-V_b$

V_a : volume **Hcl (cm³)**

V_b : volume de **NaOH (cm³)**

➤ Mode opératoire simplifié :

On applique sur l'échantillon de sable un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium d'où on détermine exactement le taux de carbonates existant dans le sable.

3) Essai de détermination des chlorures :

➤ Mode opératoire :

1. A partir de l'échantillon représentatif, prendre environ 1 kg
2. Étuver l'échantillon à $105\text{ °C} < T < 110\text{ °C}$;
3. Écraser l'échantillon et le faire passer au tamis 200 μm .
4. Placer 50 g de sol sec dans une fiole de 500 ml;
5. Ajouter à l'échantillon 100 ml d'eau distillée;
6. Filtrer l'échantillon par papier filtre, puis prendre 25 ml de filtrats.
7. Mesurer pH par un appareil incorporé dans le filtrat. (Il faut que le $6,5 < \text{PH} < 7,5$).
8. Si : le $\text{PH} > 7,5$ c'est-à-dire solution basique en ajoute acide sulfurique H_2SO_4 jusqu'à le titrage
Le $\text{PH} < 6,5$ c'est à dire solution acide en ajoute CaCO_3 jusqu'au le titrage.
9. Agiter, attention ne pas appliquer la chaleur;
10. En ajout deux à trois goutte de K_2CrO_4 (10%) puis en en remplit la burette par AgNO_3 .
11. Agiter et faire chuter la burette en même temps.
12. En arrête jusqu'à en atteint la couleur rouge.

Puis en calcule le taux de chlorure par la formule suivante :

$$\% \text{Cl}^- = (0,02 * 35,45 / 1000) * (200 / 25) * V \text{ et } \% \text{NaCl} = 1,64 * \text{Cl}^-$$

V : volume titrage corrigé

III.5. L'adjuvant :

L'adjuvant utilisé c'est l'adjuvant de super plastifiant-haut réducteur d'eau avec maintien rhéologique (voire l'annexe)

III.6. Les essais sur les mortiers :

Dans les 'essais sur le mortier le rapport E/C toujours constante et égale la valeur $E/C=0.5$

III.6.1. Essais sur la masse volumique de mortier à l'état frais :

La masse volumique ρ des mortiers, mis en place à la table à chocs, est mesurée par différence de pesées du moule $4 \times 4 \times 16$ cm selon la norme NF EN 196-1. Les mortiers sont

préparés dans des moules 4x4x16 cm. Les moules vides et pleins sont pesés. La masse volumique ρ est déduite. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

La masse volumique sur mortier frais est toujours réalisée. Cela permet de vérifier le rendement de la composition en comparant la masse volumique déterminée expérimentalement avec la masse volumique théorique.

III.6.2. Essai au maniabilimètre B (NF P 18-452 et 15-437) : [51]

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilimètre B, il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique à des dimensions connus, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.



Figure. III.10 : Maniabilimètre B.

➤ **But de l'essai :**

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, on super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser une consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance.

➤ **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.

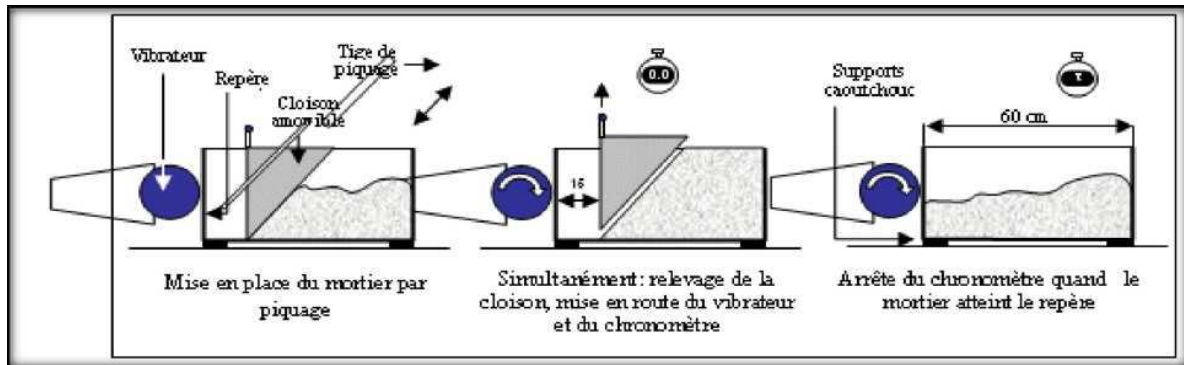


Figure. III.11 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B. [52]

➤ **Équipement utilisé :**

L'appareil utilisé est appelé " maniabilimètre B " et schématisé sur la figure. (1.7) consistée un boîtier parallélépipédique métallique (60cm×30cm×30cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

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

.Comme illustré au tableau. III.2.

Tableau. III.2 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement. [53]

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

III.6.3. Essais pour mortier frais : teneur en air (selon la norme NF EN 12350-7) :

➤ **Principe :**

Le présent essai définit une méthode de détermination de la teneur en air du mortier frais

➤ **Méthode d'essai :**

Cette méthode consiste à égaliser un volume d'air connue dans une enceinte hermétique avec le volume d'air inconnue de l'échantillon de mortier. Le cadran du manomètre est étalonné en pourcentage d'air correspondant à la pression résultante.



Figure. III.12 Aéromètre à manomètre.

➤ **Mode opératoire :**

A l'aide de la main écope, placer le mortier dans le récipient de manière à éliminer autant d'air occlus que possible. Introduire le mortier dans le récipient en trois couches d'épaisseur approximativement égale. Serrer le mortier immédiatement après l'avoir placé dans le récipient, de manière à réaliser un serrage à refus du mortier, sans ségrégation excessive ni laitance. Serrer chaque couche en appliquant l'une des méthodes appropriées décrites ci-après.

Répartir les coups ou piquages de la barre ou tige de manière égale sur toute la section du moule. S'assurer que la tige ou barre de piquages n'entre pas en contact brutal avec le fond

du récipient lors du serrage de la première couche, et ne pénètre pas de manière importante dans une couche précédente. Le nombre de coups ou de piquages par couche doit être d'au moins 25 afin d'éliminer les bulles d'air occlus mais pas l'air entraîné, à l'issue du serrage de chaque couche, tapoter par des coups secs les côtés du récipient à l'aide du maillet jusqu'à disparition des grosses bulles d'air à la surface et élimination des traces laissées par la barre ou tige de piquage

- $A_c = A_1 - G$
- A_c : la teneur en air.
- A_1 : la teneur apparente en air.
- G : le facteur de correction lié au granulat

III.7. Préparation du mortier :

- nettoyage et séchage parfait des instruments (malaxeur).
- introduire deux volumes de sable et un volume de ciment.
- introduire la quantité d'eau choisie : $E/C=0.50$
- mettre le malaxeur en route, vitesse lente pendant 60s.
- stopper le malaxeur, mettre la vitesse rapide et relancer le malaxeur pendant 30s.
- stopper le malaxeur pendant 1 min 30s et nettoyer les parois du récipient avec le batteur pendant les 15 premières secondes.
- remettre le malaxeur en route, vitesse rapide durant 60s.



Figure.III.13 : le malaxeur.

III.7.1. Préparation des éprouvettes :

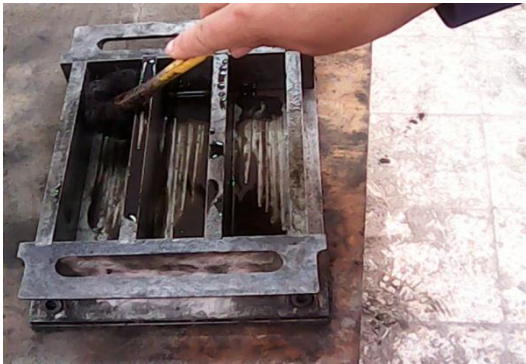
Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carrée (40 x 40 x 160) mm, Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.



Figure.III.14 : éprouvette prismatique.

III.7.2. Les étapes de préparation :

- enduire les parois latérales des moules d'une légère couche d'huile de décoffrage.
- fixer le moule et la hausse sur la table à chocs.
- introduire la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment.

**Figure.III.15 :** préparation des éprouvettes.**Figure.III.16 :** la table de chocs.

- étaler la couche en utilisant la plus grande spatule tenue verticalement.
- serrer la première couche de mortier par 60 chocs (réglage de la machine).
- retirer le moule et la hausse de la machine à chocs.
- ôter la hausse et enlever l'excédent de mortier avec la règle plate à araser.



Figure.III.17 : remplir les éprouvettes.

III.7.3. Conservation des éprouvettes :

- poser une plaque en verre ou en acier sur le périmètre du moule.
- placer le moule dans une pièce humide pendant 24 heures.
- démouler ensuite les éprouvettes avec précautions et marquer les éprouvettes.
- conserver les éprouvettes dans l'eau à 20°C.



Figure.III.18 : les éprouvettes dans l'eau.

III.8. Résistance à la flexion:

Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci. Appliquer la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme avec d'augmentation des charges, jusqu'à rupture

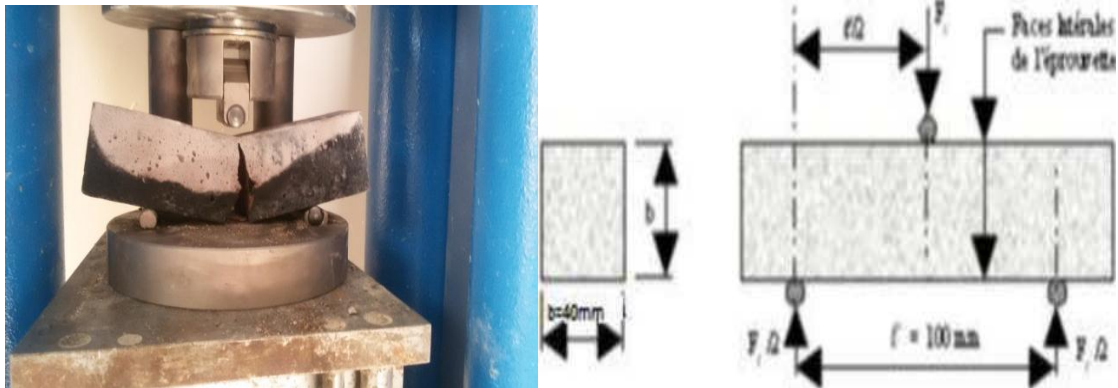


Figure. III.19 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression. La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = 1.5 F_f / b^3$$

Où :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

l : est la distance entre les appuis, en millimètres.



Figure. III.20 : éprouvette après l'écrasement.



Figure. III.21: Machine de flexion.

III.9. Résistance à la compression :

Centrer chaque demi-prisme latéralement par rapport aux plateaux de la machine à ± 0.5 mm près et longitudinalement de façon que le bout du prisme soit en porte-à-faux par rapport aux plateaux d'environ 10 mm.

Augmenter la charge avec une vitesse providence durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture (compenser la décroissance de vitesse de la charge à l'approche de la rupture).

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = F_c / b^2$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

b^2 : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

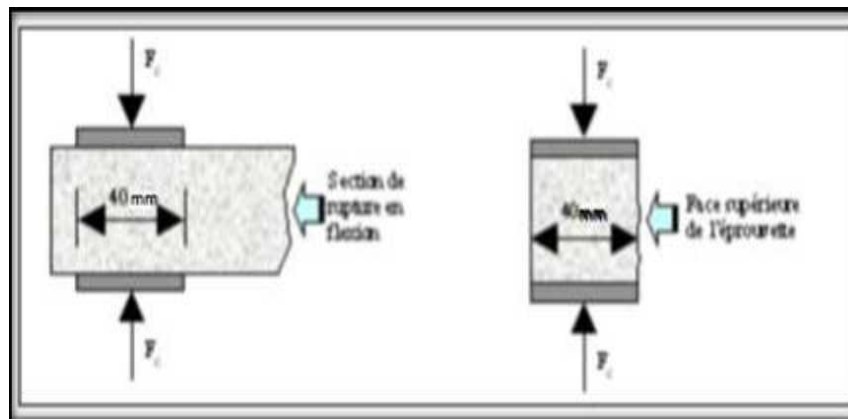


Figure. III.22 : dispositif pour l'essai de résistance à la compression.



Figure. III.23 : Dispositif de compression.



Figure. III.24 : machine de compression.

III.10. Conclusion :

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux