

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique
Université mouhamed boudiaf - M'sila
Faculté de Technologie



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف - المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

OPTION : Productique

Thème :

Conception et réalisation d' un appareil Vicat

Proposé et dirigé par :

M^{me} : khirani.D

Présenté par :

Bourezeg abd elkrim

Année Universitaire : 2015/2016

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

*A ma chère mère, et mon cher père, pour tout le mal qu'il se
sont donnés afin de me faciliter ma tâche*

*à ma **femme** pour son soutien aux moments difficiles
de mon travail et surtout pour sa patience,*

A Mes enfants

Youcef –zakariya –salsabil

*à mes Sœurs **et** mon frère Sofiane et mon*

*A tous **mes amies** dans le laboratoire de hall technologies*

bourezeg





Remerciements

*Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin
tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes reflexes
Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti. Qu'il me soit permis ici
de dire ma gratitude à ceux qui m'ont donné beaucoup de soin
à l'élaboration de ce modeste travail et m'ont guidé sur le bon chemin,
en espérant que ce mémoire soit le reflet de la bonne formation que j'ai reçu.*

Je tiens à remercier vivement mon encadreur khirani.D

pour le soutien et l'aide qu'il n'a jamais manqué de m'apporter,

et mes vifs remerciements vont aussi mes amis :

Hakim, Nasser, Sofiane, belkhacem, et Mes amis dans le laboratoire génie

Mécanique et Mes amis dans le hall technologie surtout génie civile

*à mes attentes ; qu'elles trouvent ici l'expression de
mon amitié et sympathie. Et tous les enseignants Département de génie mécanique*

Enfin, je remercie les membres de jury pour avoir

Accepté d'évaluer le présent travail



bourezeg

ملخص:

الغرض من هذا المشروع هو تصنيع جهاز لقياس الفترة الزمنية المطلوبة لبداية عملية التصلب (زمن Vicat الشك) التي تكون نتيجة للتفاعل الكيميائي بين الاسمنت والماء أو الجبس والماء. ويختلف حسب نوع الاسمنت أو الجبس ونعومته وكمية الماء ودرجة الحرارة ويحدد بواسطة جهاز فيكات باستخدام عجينة قياسية. وسوف نقوم بمقارنة القيم المتحصل عليها من التجارب بالجهاز الأصلي كمرجع .

كلمات مفتاحيه: زمن الشك - الثبات - مقاومة الضغط – طرق تصنيع (فرازة- خراطة- قولبة)

Résumé :

L'objectif de projet est la réalisation d'un appareil Vicat pour Mesurer le temps de prise (le début de solidification) qu'est due par la réaction chimique entre ciment et l'eau, et de gypse et de l'eau. Le mesurer est effectué à l'aide d'un appareil Vicat après comparer les valeurs obtenues des expériences avec l'appareil d'origine comme Référence.

Mots-clés: le temps de prise - la stabilité - résistance de compression-procédé d'usinage (le fraisage – Tournage – moulage).

Introduction générale1

Chapitre I : GENERALITE SUR LE PLATRE ET LE CIMENT

LE PLATRE

I.1 Historique 2

I.2 - DEFINITIONS ET GENERALITES 3

 I.2.1- définition 3

 I.I.2. STRUCTURE: 4

I.3 - PROPIETES GENERALES: 7

 I.3.1 dureté 7

 I.3.2 module élastique 8

 I.3.3 résistance mécanique 8

 I.3.4 - influence du dosage en eau 8

I.4. HYDRATATION ET PRISE DE PLATRE 10

 I.4.1 la prise 10

 I.4.2 la durée de prise 10

 I.4.3 les modificateurs de prise 11

LE CIMENT

I.I.1 historique	12
I.I.2 DEFINITIONS ET GENERALITES	13
I.2.1 Définitions	13
I.2.2 structure	13
I.2.3-FABRICATION DU CIMENT :	
 TECHNIQUES ET PROCEDES.....	13
I.3.1 généralités sur les matériaux cimentaires.....	17
I.3.2 les caractéristiques du ciment	18
I.I.4 PROPRIETES CARACTERISTIQUES DES	
 LIANTS HYDRAULIQUES	22

Chapitre II : DESCRIPTION ET PRINCIPE FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL VICAT

Introduction	23
II.1 Définitions	24
II.1.1-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	24
II.2 LES SOLUTIONS PROPOSEES POUR CHOISIR L'APPAREIL REALISE	26
II.2.1 système avec un support et 2 tiges filetés	26
II.2.2 système avec un support en acier	27
II.2.3 système avec un support en aluminium	28
II.3 LE CHOIX DE SOLUTION	30

Chapitre III : ETUDE EXPERIMENTALE REALISATION DU DISPOSITIF

Introduction	31
III.1 Les Etapes de la réalisation	32
III.1.2 le moulage en sable	32
III.1.3- le fraisage	34
III.1.4 –Tournage	37
III.1.5 - le Perçage et le Filetage	40
III.1.6 montage de l'appareil	42
III.2- dessin pour le support	43
III.3 ESSAI DE PRISE	44
III.4 Analyse Résultats	45
III-5 essai de prise ciment : (norme appliquée en 193-3)	45
III-6 - objectif de l'essai	45
III-7 principe de l'essai	45
III-8 Conduite de l'essai	47
III-9 Mode opératoire	47
Conclusion	
Bibliographi2	

(Figure I-1): structure du gypse	5
(Figure I.2) : Schéma d'ensemble des opérations de fabrication du plâtre	6
(Figure I.3) : Dureté du plâtre en fonction de la porosité	7
(Figure 1.4) : Evolution du module E déterminé par méthode statique et dynamique	8
(Figure I.5) : influence du rapport E/P sur la densité (a) et sur les résistances à la compression et a la flexion(b)	9
(Figure I.6) : Principes de fabrication du ciment	17
(Figure I.7) : Schémas illustrant la démarche de modélisation multi-échelles adoptée	18
(Figure I.8): Influence de la surface spécifique sur la résistance à la compression	20
(Figure I.9) : Résistance du mortier normal	21
(Figure II.1) : Détermination du temps de début de prise	23
(Figure II.2) : Evolution du temps de prise en fonction de la température	25
(Figure II.3) : Schéma de la 1 ères solution	26
(Figure II.4): Schéma du 2ème solution	27
(Figure II.5) : Schéma du 3ème solution	28
(Figure II.6) : le guidage de L'axe mobile l'appareil original	29
(Figure II.7) Support de galet fabriqué pour Le guidage de L'axe mobile	29
(Figure II.8), système avec un support en aluminium	30
(Figure III.1) La forme de support dans le sable	32
(Figure III.2) four électrique la température max 1300 c°	33
(Figure III.3) après la fusion Mettre L'aluminium dans le moule	33
(Figure III.4) fraiseuse universelle	34
(Figure III.5) Certaines opérations usinage de support sur la fraiseuse	35
(Figure III.6) Usinage le port poids et le l'axe mobile	38
(Figure III.7) mesure le Poids de les éléments port poids + aiguille + vis de fixation + L'axe mobile	38
(Figure III.8) Certaines opérations de taraudage	41
(Figure III.9) Appareil de Vicat réalisé	42
(Figure III.10) La variation de profondeur de pénétration en fonction de tempe.....	46
(Figure III.11) préparation la pâte de ciment aux niveaux de laboratoire	48
(Figure III.12) L'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule	49

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le plâtre est le ciment parmi les plus anciens matériaux fabriqués Par l'homme. il est utilisé dans différents domaines : construction, médecine, moulage.... etc.

Le ciment sert principalement à produire du béton, le matériau de construction le plus polyvalent et le plus durable au monde est incorporé à un sol faible pour le renforcer afin d'y construire un bâtiment, une route, un parc de stationnement, une piste d'aéroport,..... etc.

Le plâtre est cependant un matériau très intéressant sur le plan scientifique. C'est un liant hydraulique, mais possède une structure plus simple que celle du ciment, et pouvant servir de matériau modèle pour améliorer la compréhension du comportement des matériaux de construction. Ses avantages résident dans son prix de revient, sa légèreté, son isolation thermique et phonique ainsi que sa facilité de mise en forme. Ses inconvénients majeurs sont sa faible dureté, sa grande absorption d'eau, sa faible résistance au fluage et aux chocs mécanique.

- **L'**objectif de ce travail est de réaliser un appareil de Vicat qui permet de mesurer le temps de début et de fin de prise du plâtre et du ciment. Notre travail a été partagé en trois chapitres:

- **L**e premier chapitre : est une étude bibliographique portant sur la connaissance générale du matériau plâtre et ciment.

- **D**ans le deuxième chapitre, présent en s'appuyant sur description et principe de fonctionnement de l'appareil Vicat et différentes solutions (possibilités) pour choisir l'appareil Vicat réalisé.

- **L**e troisième chapitre, il est consacré à la partie expérimentale. Finalement, nous avons mesuré le temps de début du plâtre et le ciment avec l'appareil Réalisé et l'appareil original. Cet essai sert Pour vérifier le bon fonctionnement de notre Réalisation.

Finalement, nous concluons ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LE PLATRE ET LE CIMENT

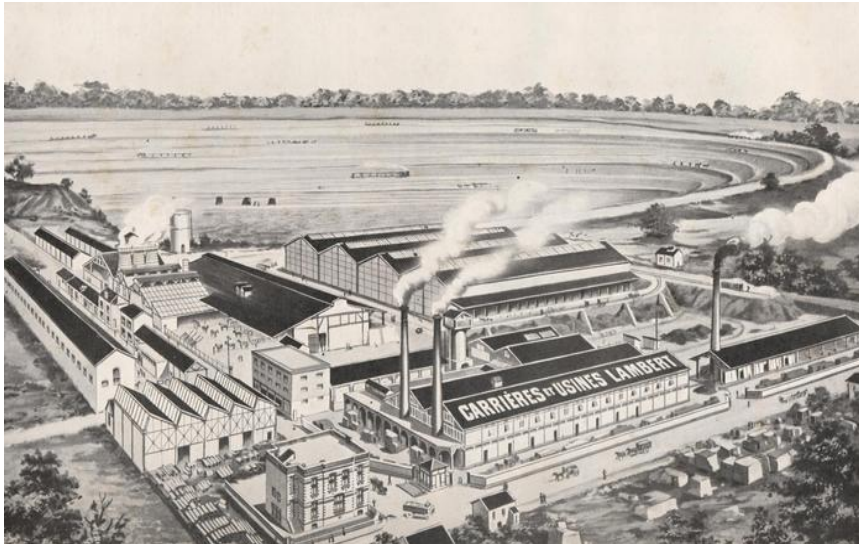
LE PLATRE

I.1 Historique

Le plâtre est un des plus vieux matériaux de construction utilisés par l'homme, avec la chaux et la terre cuite. Les premiers signes d'emploi du plâtre remontent à environ 9000 ans, sous forme de support pour fresques murales. La faible température nécessaire à la production de la poudre de plâtre et l'abondance du gypse dans la nature expliquent cette ancienneté d'utilisation. L'un des premiers exemples d'utilisation du plâtre en construction est l'assemblage de blocs de pierre constituant la grande pyramide de Kéops. Actuellement, le plâtre est utilisé soit directement en enduit, ou bien en éléments préfabriqués (carreaux ou plaques). C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation en intérieur, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu. La conductivité thermique d'un enduit de plâtre est de l'ordre de $0.26 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, contre 1.15 pour un enduit de ciment ou 50 pour de l'acier. Sumériens, les Assyriens et surtout les Égyptiens ont beaucoup utilisé le plâtre notamment pour la confection de masques funéraires dont le premier exemple connu est celui du roi Téry (datant de 2400 ans avant J.C., site de Saqqara). Pour Pline, c'est Lysistrate de Sicyone, frère du sculpteur Lysippe qui produisit le premier moulage en plâtre sur nature à partir duquel il réalisa un tirage en cire. Si la tradition des masques funéraires moulés se retrouve aux périodes hellénistique et romaine, ce fut toujours en Égypte que la production de plâtre fut la plus importante (reliefs, médaillons, attaches d'anses, pieds de vase, plats) C'est avec la conquête romaine que le plâtre arriva en Gaule. La technique s'implanta très facilement puisque le bassin parisien et d'autres régions de Gaule abondaient en gypse. À Paris, la pierre à plâtre était parfois Ces propriétés s'expliquent par la très grande porosité du matériau et par la présence d'eau de structure (environ 20 % en masse). Le plâtre dégage de l'eau en présence de chaleur, stabilisant ainsi la température murale à des valeurs inférieures à 20°C . Une couche de plâtre de 1 m^2 et de 10 mm d'épaisseur représente une réserve d'eau de 1.4 litres, qui vont se dégager et limiter la progression du feu sans aucun dégagement de gaz toxiques ou de fumées. [01] Si Durant tous ces siècles, l'extraction du gypse se fait principalement de façon artisanale directement à flanc de colline, puis en galerie, avec une cuisson au feu de bois et un concassage Manuel, c'est à partir du XIXème siècle que l'exploitation se déplace hors des villes. En 1822, Pierre-Etienne Lambert ouvre la première carrière de Corneilles-en-Parisis en région parisienne. Les fours artisanaux laissent alors la place à des fours à plâtre beaucoup plus performant et, à partir de 1878, son descendant Jules-Hilaire Lambert industrialise la production des

plâtres de construction et de moulage. Autre grande étape clé dans la saga de ce matériau : l'invention du "plasterboard" en 1890 à New-York, qui gagna la France en 1946 avec la production des premières plaques de plâtre par Placoplatre sur le site de Vaujours .

La montée en puissance croissante de l'utilisation de la plaque de plâtre qui dépasse aujourd'hui les 300 millions de m² annuel, a par ailleurs entraîné l'apparition d'un nouveau métier, baptisé "plaquiste" suite à un voyage d'étude d'entreprises spécialisées organisé au Canada et aux USA par Placoplatre en 1980.



Usine Placoplatre de Cormeilles

I.2- DEFINITIONS ET GENERALITES

I.2.1- définitions

Le plâtre désigne principalement un matériau de construction à propriétés isolantes ou ignifuges fabriqué industriellement à partir de la matière première rocheuse qu'est le gypse. Le terme désigne dans la pratique, soit la poudre ou matière poudreuse industrielle de départ (le plâtre sec à aviver) soit la pâte constituée d'un mélange de poudre et d'eau à employer (le plâtre prêt), soit le matériau compact, par exemple sous forme de plaques, voire le revêtement de plâtrage ou l'enduit posé.

A- gypse: C'est un sulfate de calcium à deux molécules d'eau (di-hydrate). Sa Formule chimique est $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ correspondant à 79.07% de sulfate de calcium associé à 20.93% d'eau [02], il est très abondant dans la nature sous forme d'une roche Sédimentaire compacte, avec une porosité totale de l'ordre de 10 % à 15 %.

B- platre: C'est une poudre blanche que l'on mélange à de l'eau (gâchage) pour Obtenir un plâtre qui durcit en séchant [03], il provient essentiellement de gypse naturel

mais il s'obtient aussi à partir de traitements industriels des phosphates [04], Quelle que soit l'origine du gypse, naturel ou synthétique, une déshydratation partielle, par chauffage, donne de l'hémihydrate de calcium selon la réaction à 150°C.

C-anhydrite: C'est un sulfate de calcium anhydre, qui répond à la formule Chimique CaSO_4 s'obtient par la déshydratation totale du gypse selon la réaction à 290°C.



Plâtre dans un bac en plastique

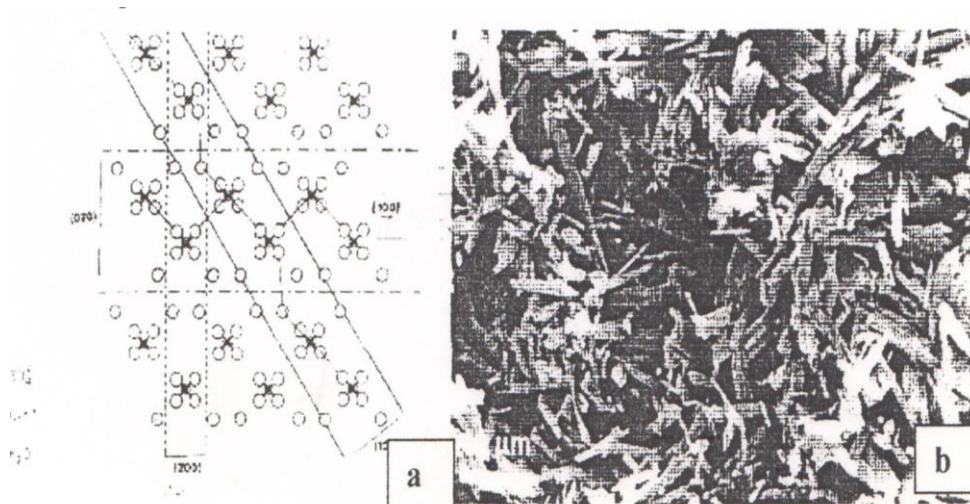


Plâtre gâché avec de l'eau dans un bac en plastique

I.2.2 STRUCTURE:

Le plâtre est constitué de cristallites de gypse, parfaitement cristallisés. La structure cristalline du gypse a été beaucoup étudiée, du fait de sa présence importante dans la nature. Le gypse est un cristal monoclinique, qui est composé d'un empilement de couches d'ions de calcium Ca^{2+} et de sulfate SO_4 il est sous forme tétraédrique avec un atome de soufre au centre et des atomes d'oxygène au sommet, séparés par des doubles couches d'eau. Les liaisons entre les éléments de la structure sont les suivantes :

- Les liaisons dans les feuilles $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ sont ioniques. Ces liaisons ioniques fortes sont dues aux différences de charges électriques.
- Les molécules d'eau forment des liaisons hydrogène avec les atomes d'oxygène des ions sulfates et leurs atomes d'oxygène sont reliés aux ions calcium [05], (**figure I-1**)



(Figure I-1): structure du gypse

a- Projection de la structure cristalline du gypse selon la direction

b- Microstructure (MEB) du gypse [06],

A- fabrication du plâtre :

La fabrication du plâtre repose sur un principe relativement simple l'élimination totale ou partielle de l'eau de constitution du gypse [07], Elle comprend plusieurs opérations (figure I.2).

B- extraction :

L'extractions du gypse est effectuée en carrières souterraines ou à ciel ouvert. Le mode d'exploitation à ciel ouvert consiste l'enlèvement total de la masse du gypse. L'extraction en galeries souterraines se fait par la méthode des chambres et piliers. [07]

C- broyage:

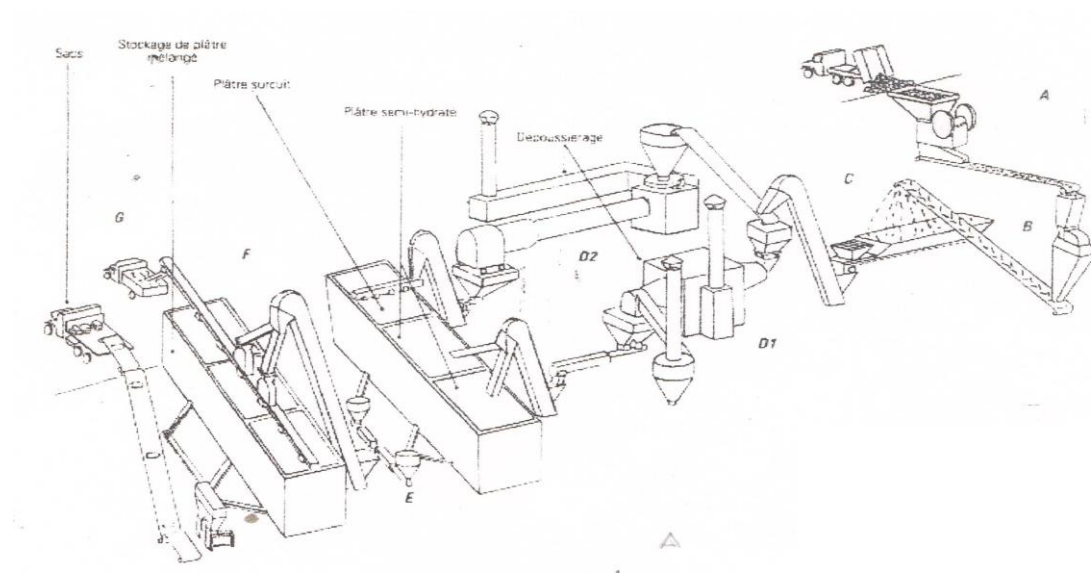
Le broyage du gypse consiste à fragmenter les gros blocs dans des concasseurs qui peuvent être, suivant la granulométrie recherchée et l'état d'humidité du gypse, giratoires, à mâchoires, à percussion. [2] Cette opération permet d'augmenter la surface spécifique et de faciliter ainsi sa cuisson. La transformation complète du gypse pendant le broyage à sec en ajoutant un certain taux de minéraux hydratés qui déshydratent avant le gypse . [10]

D- cuisson:

C'est une étape très importante au cours de laquelle il se produit une déshydratation plus ou moins poussée du gypse [11]. On procède à la cuisson suivant deux procédés:

- Le procédé par voie sèche, qui est le plus utilisé, est réalisé à la pression atmosphérique. Le chauffage est effectué dans divers types de fours, équipés à l'intérieur de dispositifs assurant une distribution et une cuisson régulière de la matière.

- Le procédé par voie humide s'effectue sous pression saturante de vapeur d'eau, dans laquelle la chaleur est transmise au gypse par la paroi du four (fours autoclaves) [12].



(figure I.2) : Schéma d'ensemble des opérations de fabrication du plâtre [2]

A : L'extraction du plâtre concassage

B : broyage primaire

C / D : Four La cuisson (entre 120 et 160°C \rightarrow $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ \longrightarrow $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Sous pression atmosphérique par voie sèche Par voie humide dans des fours autoclaves.

E : Le broyage du plâtre (1500 et 12000 cm^2/g)

F : Le mélange \rightarrow Homogénéité du produit + incorporation d'adjuvants

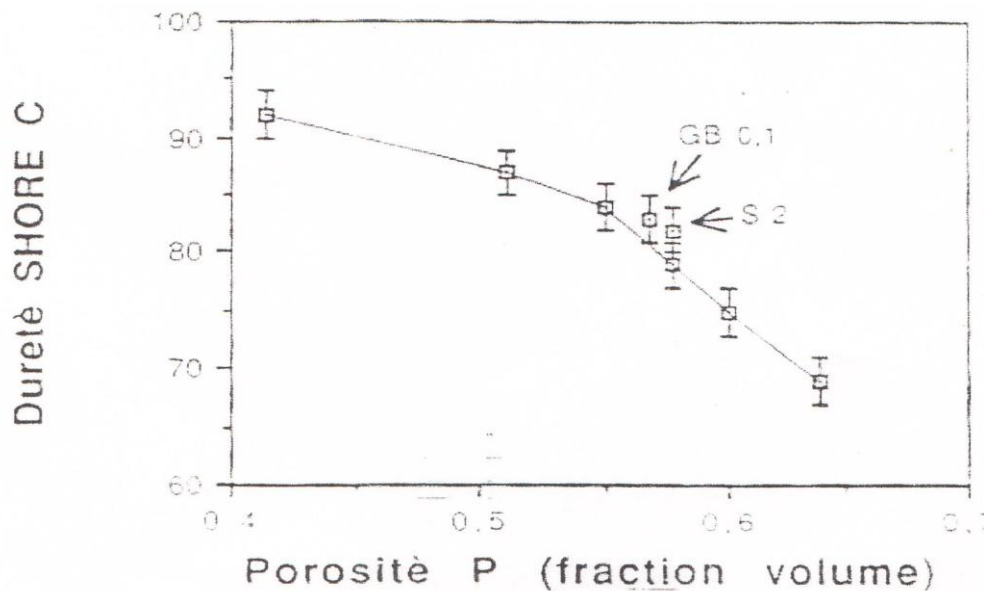
G : L'ensachage

I.3 PROPRIETES GENERALES:

I.3.1 DURETE:

Les valeurs de la dureté du plâtre pris peuvent être très différentes selon la localisation de l'impact de l'aiguille (dureté Shore). Pour une valeur convenable, on effectue une centaine de mesures, dont on extrait la valeur moyenne et un écart type [14]. La dureté est très influencée par la porosité présente dans le plâtre (figure I.3). Pour une porosité de 57%, la

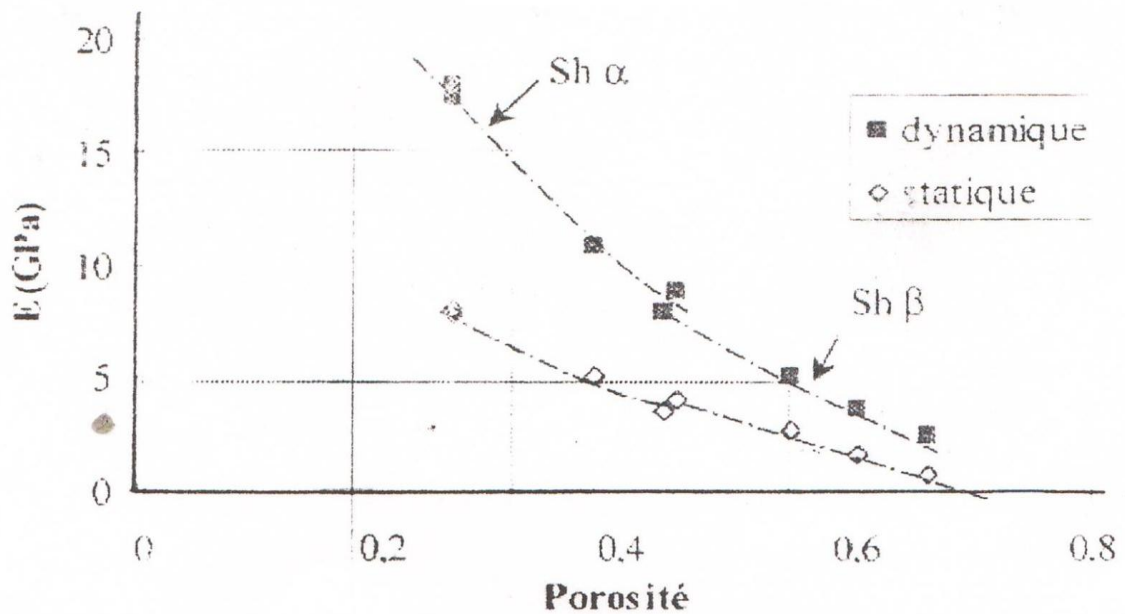
dureté Shore C = 80 [15] L'échelle de dureté Shore mesure la dureté des élastomères, de certaines matières plastiques, des cuirs et des bois. Cette échelle a été développée dans un but de réaliser des mesures hors laboratoire avec un duromètre Shore portable (par exemple pour mesurer la dureté des pneus de véhicules



(Figure I.3) : Dureté du plâtre en fonction de la porosité [14]

I.3.2 MODULE ELASTIQUE:

L'étude des diagrammes force-déformation du plâtre sec permet d'affirmer qu'aux vitesses usuelles d'essais, le plâtre est un matériau élastique linéaire. Le module de Young, qui est un paramètre censé chiffrer l'élasticité du matériau, se détermine à partir de n'importe quel point de la droite "contrainte-déformation" [14] il dépend fortement de la porosité (figure I.4). Pour une porosité de 57%, le module élastique est de $E=5\text{Gpa}$.



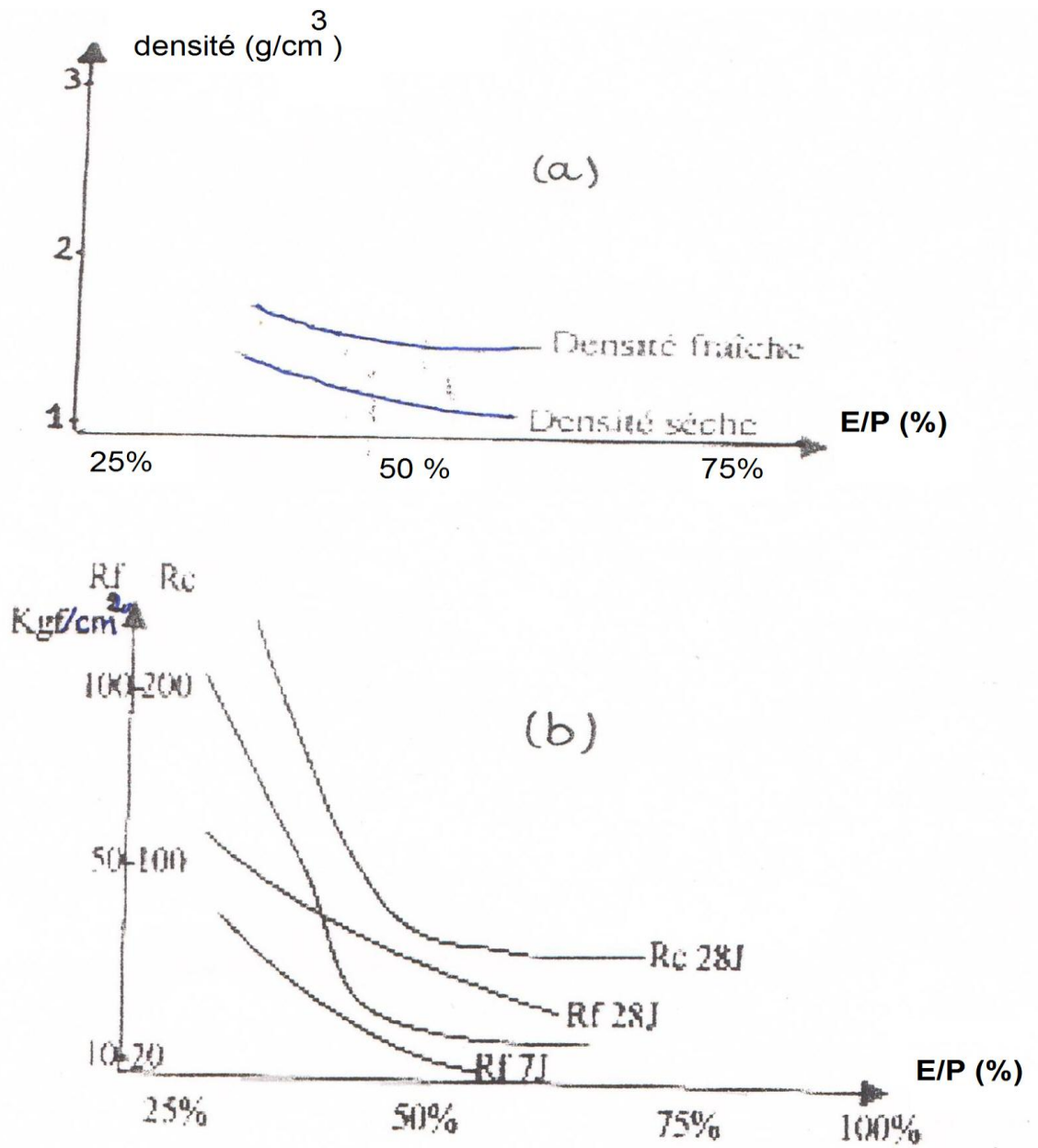
(**Figure 1.4**) : Evolution du module E déterminé par méthode statique et dynamique pour des pris de différentes porosités, Sh signifie semihydrate [1]

I.3.3 RESISTANCE MECANIQUE:

Le plâtre pris présente une faible résistance mécanique et il est sensible à la propagation sous critique des fissures Généralement, la contrainte à la rupture ne dépasse pas quelques unités de MPa. Sa résistance mécanique en compression est deux fois sa résistance en traction. Elle est très influencée par le pourcentage d'eau de gâchage et la taille de l'échantillon. La dispersion sur les valeurs expérimentales est de l'ordre de 10 à 15% pour une taille d'éprouvette donnée[5]

I.3.4 - INFLUENCE DU DOSAGE EN EAU:

Le taux de gâchage à saturation est le rapport du poids de l'eau utilisée pour la mise en du plâtre sur le poids de celui-ci. Un rapport eau/plâtre élevé provoque une porosité élevée et une chute des résistances mécaniques. Les courbes c,-après donnent l'influence du rapport E/P sur la densité et sur la résistance mécanique. il est recommandé d'utiliser une rapport E/P = 0.6 ce qui facilité sa mise en forme et une résistance satisfaisante [20] (**Figure I.5**).



(Figure I.5)influence du rapport E/P sur la densité (a) et sur les résistances à la compression et a la flexion(b). [20]

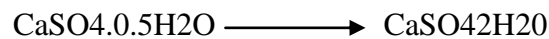
I.4. HYDRATATION ET PRISE DE PLATRE

I.4.1 LA PRISE :

La prise d'une pâte de plâtre est un changement d'état physique de celle-ci. Elle se fait en trois phases, à savoir:

- Une phase chimique d'hydratation.
- Une phase physique de cristallisation.
- Une phase mécanique de durcissement.

Elle correspond à la période où la pâte accroît sa viscosité rigide. En effet, lorsqu'on gâche le plâtre, le demi hydrate se combine avec l'eau pour revenir au di hydrate original suivant une réaction vive et très rapide. Elle est accompagnée d'une élévation de température et d'une augmentation de volume.



Le début de prise précède la période donnante; elle correspond à l'instant où les ponts d'hydrates commencent à relier les grains de plâtre entre eux. La fin de prise quant à elle, correspond au moment où les grains de plâtre sont tous solidarisés; ce qui conduit au durcissement du plâtre.[22]

I.4.2 LA DUREE DE PRISE :

La durée de prise est celle qui correspond au temps pendant lequel le plâtre présente une consistance pâteuse et donc à son temps d'emploi. Le mécanisme de la prise explique qu'elle n'est pas instantanée, qu'elle varie avec la constitution du plâtre et qu'elle demande d'autant plus de temps que la quantité d'eau de gâchage est plus grande. Parmi les facteurs agissant sur la durée de prise, on peut citer indépendamment de la présence de surcuit qui peut l'allonger considérablement.

La température : La durée la plus courte correspond à un gâchage réalisé aux environs de 35°C. Le temps de prise augmente lorsque la température se rapproche de 0°C ou au contraire lorsqu'elle s'élève au-delà de 40°C.

- La quantité d'eau de gâchage.
- L'addition de certains adjuvants.

- La présence de restes de plâtre pris (gypse) du fait d'un nettoyage insuffisant du matériel d'une gâchée à l'autre, ou l'adjonction de produit spécifique [2]

I.4.3 LES MODIFICATEURS DE PRISE

Les modificateurs de prise sont multiples. On distingue, les plastifiants, les accélérateurs, les retardateurs de prise etc.

a- les accélérateurs:

Les accélérateurs de prise sont généralement utilisés pour la préfabrication pour une plus grande utilisation des moules [11], On fait donc appel à des accélérateurs qui sont des produits minéraux.

- Soit formant des germes de cristallisation: gypse broyé par exemple.
- Soit diminuant la solubilité du sulfate de calcium dihydraté: sulfate de fer, acides sulfuriques, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium. [07]

B- les retardateurs:

Les retardateurs de prise permettent d'avoir une plus grande durée de maniabilité des plâtres lors de leur mise en œuvre plus ou moins manuelle [11], Dans le bâtiment et les arts ou l'industrie, il est nécessaire de retarder la prise du plâtre pour permettre un travail plus facile. Plusieurs mécanismes

Peuvent être mis en jeu.

- Diminution de la vitesse de dissolution des phases anhydres.
- Diminution de la solubilité des phases anhydres.
- Adsorption d'ions à la surface des cristaux de gypse en cours de croissance et incorporation de ces ions dans leurs réseaux.
- Formation de complexes limitant la diffusion vers les cristaux de gypse.

Les principaux retardateurs sont les suivantes:

- Phosphates alcalins et d'ammonium.
- Acides organiques et leurs sels solubles, acide citrique, citrates
- Protéines dégradée [07].

LE CIMENT

I.1.1 HISTORIQUE ET ORIGINE DE CIMENT

Pendant la préhistoire et depuis l'antiquité, on utilisait de la terre argileuse comme liant pour maçonner les pierres. Lors de la construction des pyramides, les égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse. [28].

Plus tard, les Grecs et les Romains furent les premiers à utiliser de la chaux ; produit obtenu par la cuisson du calcaire, dans leur construction. Ils améliorèrent le liant en y ajoutant des pouzzolanes; particules très fines d'origine naturelle. ils obtiennent ainsi le ciment romain. [29]. Ce liant fut utilisé sans grandes modifications jusqu'à 1756, date à laquelle l'anglais Smeaton, lors de la construction du phare d'Eddy détone, mélangea des chaux hydrauliques et des pouzzolanes, il obtient ainsi le premier liant artificiel, avec lequel il prépara un mortier qu'il présenta comme étant ainsi dur que la pierre de Portland (région située à la presqu'île du Dorsetshire près de Weymouth).

En 1817, l'ingénieur français Louis Vicat, suivi au début des années 1820 par Treussart ainsi que par Pavin de Lafarge, mettent au point les formules des ciments actuels, préparés dans des fours verticaux. Les premières cimenteries apparaissent vers 1850 c'est-à-dire que le ciment est un matériau Relativement récent L'industrie des ciments est vite devenue une industrie de masse traitant des quantités énormes de matériaux. De nos jours, la production mondiale dépasse largement le milliard de tonnes par année [30].

I.I.2 DEFINITIONS ET GENERALITES

I.I.2.1 Définitions

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcit progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux notamment des silicates et d'aluminates de calcium. La proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse de ciment. Les ciments courants ont pour produit essentiel; le clinker associé à d'autres constituants. Ces constituants modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. Dans la mesure où ils sont des sous produits d'autres industries, ils contribuent à amoindrir le prix revient [31].

I.I.2.2 structure

La composition « potentielle » est calculée à partir des quantités d'oxydes contenues dans le clinker comme si la cristallisation complète des produits d'équilibre avait eu lieu. Quatre composés, également appelés « phase », sont habituellement considérés comme les principaux constituants du ciment et sont énumérés dans le tableau 1.1 avec leur symboles abrégés. En effet, cette notation abrégée, utilisée par les chimistes de l'industrie du ciment, décrit chaque oxyde par une lettre : Ca O = C ; Si O 2 =S ; Al 2 O3= A et Fe 2 O3= F. De la même façon, H 2 O dans le ciment hydraté est désigné par H et SO3 par S

I.I.2.3-Fabrication du ciment : Techniques et Procédés

La production du ciment dans l'Union européenne est environ 10,5 % de la production mondiale. En 2008, on dénombrait dans l'Union européenne 268 installations produisant du clinker et du ciment fini, regroupant 377 fours au total. On recensait également 90 usines de broyage (broyeurs à ciment) et deux installations de production de clinker sans broyeur. En règle générale, les fours ont une capacité d'environ 3 000 tonnes de clinker/jour. La production du ciment en Algérie est d'environ 15,5 millions de tonnes /an. Le pays compte 13 installations de cimenteries, 12 publiques et 1 privée, réparties à travers le nord du territoire. La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO₃) en oxyde de calcium

(Cao, chaux) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique (CO₂), à environ 900 °C. Ce procédé appelé calcination est suivi

de la cuisson du clinker, ou clinkérisation, pendant laquelle l'oxyde de calcium réagit à une haute température (en général entre 1 400 et 1 500 °C) avec la silice, l'alumine et l'oxyde ferreux pour former des silico-aluminates de calcium composant le clinker. Celui-ci est ensuite broyé et mélangé à du gypse et à d'autres constituants ce qui permet d'obtenir le ciment. Le carbonate de calcium est extrait de formations naturelles de roches calcaires, de marne ou de craie. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine se trouvent dans divers minerais et minéraux.[30] La fabrication du ciment se distingue en six étapes principales :

- l'extraction
- l'homogénéisation
- le séchage et le broyage
- la cuisson
- le refroidissement
- le broyage

A-Extraction

L'extraction consiste à extraire les matières premières vierges (comme le calcaire « 75 à 80 % » et l'argile « 20 à 25 % ») à partir de carrières. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des tombereaux, (dumpers), ou des bandes transporteuses vers un atelier de concassage. Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition chimique régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice)

B-Homogénéisation

La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène aux proportions chimiques bien définies. Cette opération peut être réalisée : soit dans un hall de pré homogénéisation où on obtient le mélange homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle; soit dans un silo vertical par brassage par air comprimé.

C-Séchage et broyage

Le séchage et le broyage sont l'étape visant à favoriser les réactions chimiques ultérieures. Les matières premières sont séchées et broyées très finement (de l'ordre du micron) dans des broyeurs à

boulets, ou, plus récemment, dans des broyeurs verticaux à meules, plus économes en énergie. On distingue trois types principaux de "voies" en fonction du type de préparation :

la voie humide : c'est la technique la plus ancienne. Elle est aussi la plus gourmande en énergie, nécessaire à l'évaporation de l'excédent d'eau. Dans les deux techniques suivantes, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées sous forme de « cru » ou « farine ». la voie sèche : la farine est introduite directement dans le four sous forme pulvérulente, après un préchauffage dans une tour à échangeurs thermiques. la voie semi-sèche : avant introduction dans le four, la farine est transformée en "granules" par humidification dans de grandes « assiettes » rotatives inclinées. Le cru est ensuite introduit dans un long four (60 m à 200 m) rotatif (1,5 à 3 tours par minute), tubulaire (jusqu'à 6 m de diamètre), légèrement incliné (2 à 3 % d'inclinaison)

D-Cuisson

Le cru va suivre différentes étapes de transformation lors de sa lente progression dans le four, vers la partie basse, à la rencontre de la flamme. Cette source de chaleur est alimentée au charbon broyé, fioul lourd, gaz, ou encore en partie avec des combustibles de substitution provenant d'autres industries, tels que le coke de pétrole, les pneus usagés, les farines animales, les huiles usagées. La température nécessaire à la clinkerisation est de l'ordre de 1 450 °C. L'énergie consommée se situe entre 3 200 et 4 200 kJ par tonne de clinker, qui est le produit semi-fini obtenu à la fin du cycle de cuisson. Il se présente sous forme de granules grises.

À la sortie du four, le clinker doit être refroidi et broyé avant d'être entreposé dans des silos.

Le clinker est le résultat d'un ensemble de réactions physico-chimiques progressives (clinkerisation) permettant ,La décarbonatation du carbonate de calcium (donnant la chaux vive) La scission de l'argile en silice et alumine La combinaison de la silice et de l'alumine avec la chaux pour former des silicates et des aluminates de calcium.

E-Refroidissement

Dans le cas des ciments gris, le clinker est refroidi, dans la plupart des cimenteries actuelles, par un refroidisseur à grilles: le clinker va progresser à l'intérieur du refroidisseur grâce aux à-coups répétés des grilles sur lesquelles il repose, au travers des grilles, de puissants ventilateurs vont souffler sous le clinker afin de le refroidir, à l'entrée ou à la sortie du refroidisseur, selon le modèle utilisé, un concasseur à un ou plusieurs rouleaux va le broyer de manière grossière.

Dans le cas du ciment blanc, plus fragile que le gris car il doit rester immaculé, un refroidisseur rotatif est inséré entre le four rotatif et le refroidisseur à grilles. Il s'agit d'un cylindre légèrement incliné qui tourne sur lui-même et à l'intérieur duquel de l'eau est pulvérisée à l'aide de multiples

buses. Bien que sa composition chimique soit légèrement différente, c'est grâce au refroidisseur rotatif que le ciment peut rester blanc : en effet, son rôle est de refroidir très rapidement le clinker à sa sortie du four, avant qu'il ne soit oxydé au contact de l'air. De plus, la taille des refroidisseurs à grilles utilisés sur les lignes de ciment blanc est considérablement réduite, le refroidisseur rotatif accomplissant une partie de leur travail.

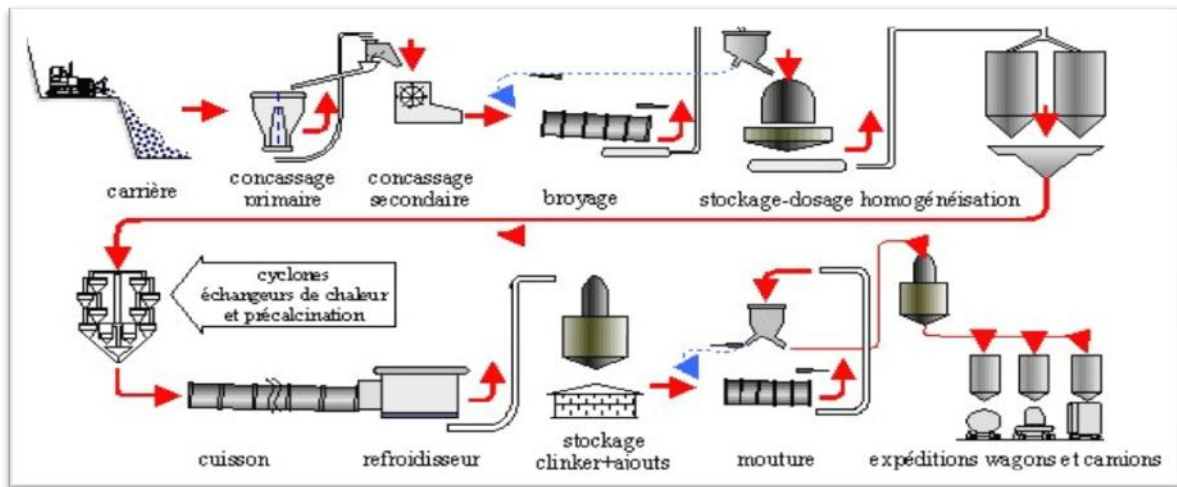
F-Broyage

Le clinker est ensuite finement broyé pour conférer au ciment des propriétés hydrauliques actives. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets d'acier et mis en rotation. Lors de cette étape, le gypse (3 à 5 %), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker. On obtient alors le ciment Portland. Les ciments à ajouts sont obtenus par l'addition, lors de la phase de broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus dans des matériaux tels que :

- le laitier de hauts fourneaux (résidus de la sidérurgie)
- les cendres volantes de centrales électriques
- les fillers calcaires (granulats)
- les pouzzolanes naturelles ou artificielles

G-Broyage très fin

EMC Energetically Modified Cement est un ciment produit selon un procédé breveté de broyage intense de ciment CPA avec des différentes charges, comme sable fin, quartzite, pouzzolane ou cendres volantes, etc. Il possède les mêmes caractéristiques physiques²⁰ que les ciments portland artificiels CPA, mais avec 50 % moins de ciment, énergie et émissions de CO₂.

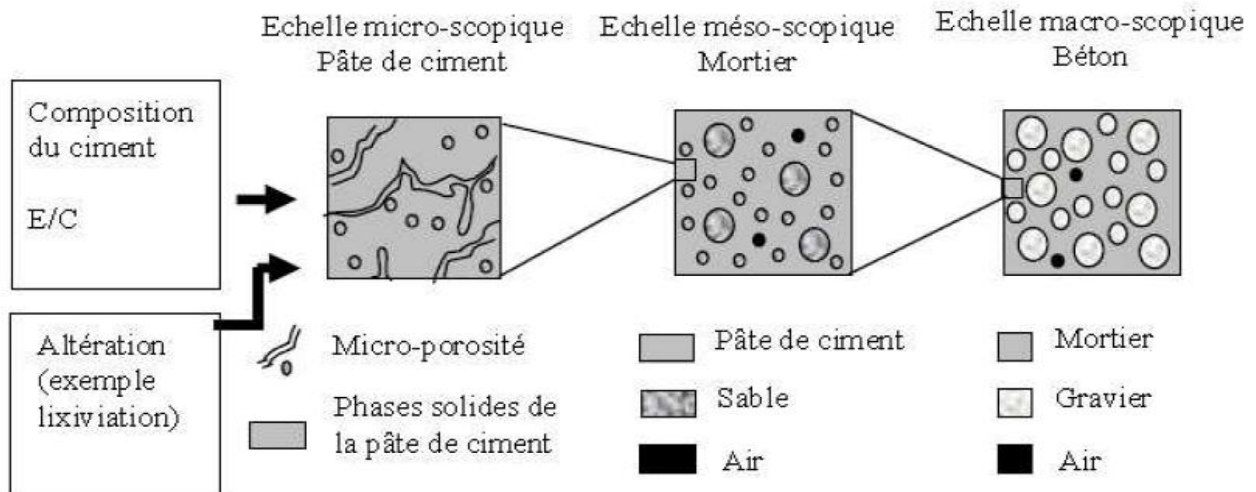


(Figure I.6) .Principes de fabrication du ciment[32]

I.I.3.1 GENERALITES SUR LES MATERIAUX CIMENTAIRES

Les matériaux cimentaires peuvent être considérés à trois échelles :

- 1) **Echelle macroscopique** : le matériau est modélisé comme un empilement granulaire compact de grains de dimensions comprises entre quelques mm et quelques dizaines de mm (gravillon), enrobés par un mortier. La zone d'interface entre les grains et la matrice appelée auréole de transition a des caractéristiques mécaniques et des propriétés de transfert différentes de celle de la pâte de ciment du mortier. Les propriétés du mortier sont déduites de la méso structure générée à l'échelle méso scopique.
- 2) **Echelle mésoscopique** : le mortier est décrit comme un empilement compact de grains de dimensions comprises entre une centaine de microns et quelques millimètres (sable), enrobés par une pâte de ciment durcie. Les propriétés de la pâte de ciment sont déduites de la microstructure générée à l'échelle microscopique.
- 3) **Echelle microscopique**: la pâte de ciment durcie est décrite à partir de la composition du ciment et du rapport E/C comme un assemblage poreux composé :
 - De phases hydratées telles que les silicates de calcium hydratés, la portlandite, les sulfo-aluminates de calcium hydratés etc...
 - De phases anhydres ou en cours d'hydratation telles que les silicates de calcium et les aluminates de calcium.



(Figure I.7) : Schémas illustrant la démarche de modélisation multi-échelles adoptée [32]

I.1.3 LES CARACTERISTIQUES DU CIMENT

A-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. La prise est le terme utilisé pour décrire le raidissement de la pâte de ciment, elle fait référence au passage d'un état fluide à un état rigide. Bien que durant la prise la pâte acquière un peu de résistance, dans la pratique, il est important de distinguer la prise du durcissement qui, lui, se réfère au gain de résistance de la pâte de ciment ayant fait prise. Il semble que la prise soit provoquée par une hydratation sélective des composés du ciment : les deux premiers à réagir sont le C3A et le C3S. L'ajout du gypse retarde la formation d'hydrate d'aluminate de calcium et permet ainsi au C3S de faire prise en premier. Du C3S pur mélangé à de l'eau présente aussi une prise initiale, mais le C2S raidit d'une manière plus graduelle. Dans un ciment convenablement retardé, la structure de la pâte de ciment hydraté est constituée d'hydrates de silicate de calcium, alors que si l'on permettait au C3A de faire prise en premier, il en résulterait un hydrate d'aluminate de calcium plutôt poreux.

Les autres composés du ciment s'hydrateraient à l'intérieur de cette structure poreuse et les caractéristiques mécaniques de cette pâte de ciment seraient affectées défavorablement. Outre la rapidité de formation des produits cristallins, le développement de film autour des grains de ciment et une coagulation des composants de la pâte ont également été envisagés comme étant des facteurs conditionnant le développement de la prise. Au moment où la fin de prise apparaît, il y'a une chute soudaine de la conductivité électrique de la pâte de ciment, le temps de prise diminue avec l'augmentation de la température, mais au dessus d'environ 30 °C, un effet contraire peut être observé. A basse température, la prise est retardée.

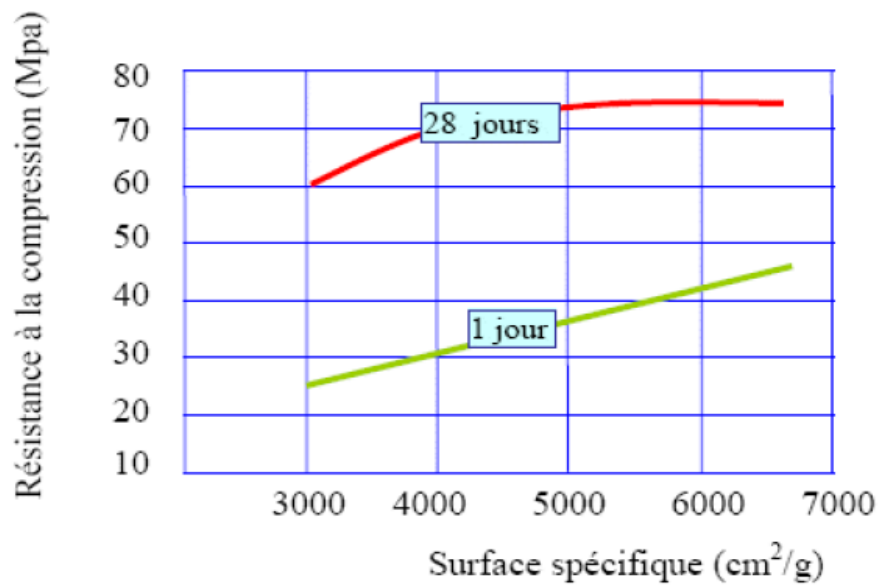
B-durcissement

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.

C-finesse du ciment

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimée en (Cm^2/g). Dans les cas courants, elle est de l'ordre de 3000 à 3500 Cm^2/g .

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. La surface massique de ciment étudié n'est pas mesurée directement, mais par comparaison avec un ciment de référence dont la surface massique est connue. il s'agit de faire passer un volume d'air connu au travers d'une poudre de ciment.



(Figure I.8): Influence de la surface spécifique sur la résistance à la compression [34]

D- résistance mécanique du gel de ciment

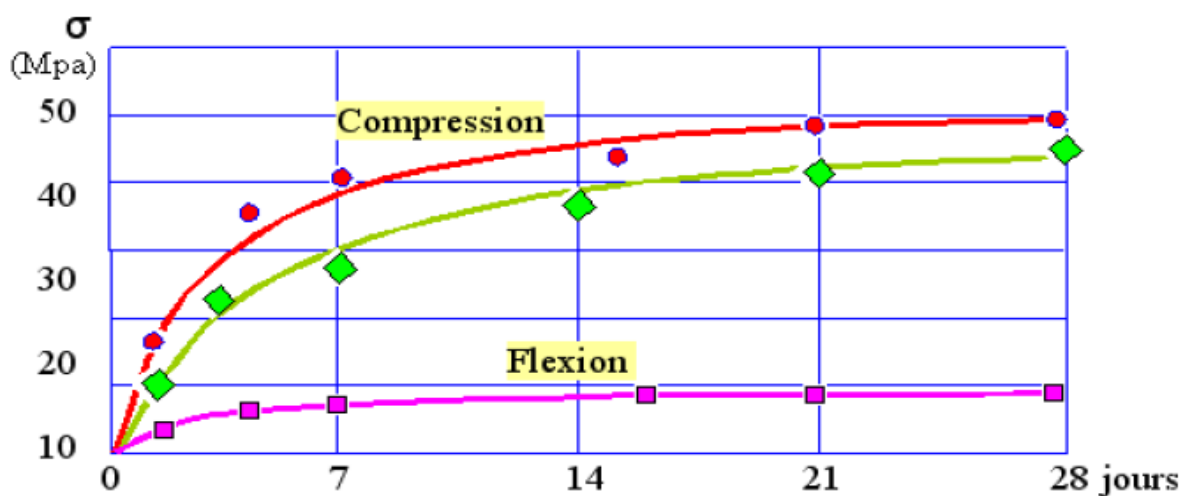
il existe deux théories classiques relatives au durcissement du ciment ou au développement de sa résistance. En 1882, Le Chatelier indiqua que les produits d'hydratation du ciment ont une faible solubilité que les composés d'origine, de telle façon que les hydrates précipitent à partir d'une solution sursaturée. Le précipité se présente sous forme de cristaux allongés entrelacés avec une cohésion élevée et des propriétés liantes. La théorie colloïdale, proposée par Michaelis en 1893, supposait que l'aluminate cristallin, les sulfoaluminates et l'hydroxyde de calcium sont responsables de la résistance initiale. L'eau saturée en chaux attaque alors les silicates pour former un silicate de calcium hydraté qui, étant pratiquement insoluble, forme une masse gélatineuse. Cette masse durcit graduellement par suite de la perte d'eau due au séchage externe ou par hydratation du noyau central non hydraté des grains de ciment, créant ainsi une certaine cohésion. Par commodité, quoique incorrectement, on inclut dans le terme « gel de ciment » l'hydroxyde de calcium cristallin. On considère donc le gel comme la masse homogène de ciment hydraté dans sa pâte la plus dense, c'est-à-dire incluant les pores de gel, la porosité caractéristique étant de 28 % environ. La source réelle de la résistance du gel n'est pas entièrement comprise, mais dépend probablement de deux types de lien homogène. Le premier est l'attraction physique entre les surfaces solides, séparés seulement par les

petits pores de gel (moins de 3 nm) ; cette attraction est généralement connue sous le nom de force de Van der Waals

La deuxième source de cohésion vient des liens chimiques. Puisque le gel de ciment n'est pas gonflant, c'est-à-dire que les particules ne peuvent être dispersées en ajoutant de l'eau, il semble que les particules de gel s'entrecroisent sous l'effet de forces chimiques. Ces dernières sont plus fortes que les forces de Van der Waals, mais les liens chimiques ne couvrent qu'une faible fraction de la surface des particules de gel. Par ailleurs, une surface aussi importante que celle du gel de ciment ne constitue pas une condition nécessaire pour développer une résistance élevée puisque les pâtes de ciment muries à la vapeur à une haute pression ont une faible surface et possèdent de très bonnes propriétés hydrauliques. On ne peut donc estimer l'importance relative des liens chimiques et physiques, mais il est clair que tous deux contribuent à la très forte résistance de la pâte de ciment durci. Il faut admettre que la nature de la cohésion de la pâte de ciment hydraté et de son adhérence aux granulats est encore mal connue.

E-résistance a 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. Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.



(Figure I.9) : Résistance du mortier normal[35]

I.I.4 PROPRIETES CARACTERISTIQUES DES LIANTS HYDRAULIQUES

En fait, une analyse détaillée peut révéler leur composition chimique, les principales propriétés qui intéressent le constructeur sont :

La durée de prise : elle est très changeable, de 10 minutes pour les liants à prise rapide jusqu'à 15 jours et au delà pour les liants à prise très lente. La prise a toujours lieu avec dégagement de chaleur et diminution de volume ou retrait. Et La résistance à la compression et à la traction.

Différents liants hydrauliques

LE PLATRE	<ul style="list-style-type: none">-Ne résiste pas a i 'humidité.- Ne peut être utilise sur les chantiers que pour le trace
LA CHAUX	<ul style="list-style-type: none">- Sous forme de "chaux hydraulique".-Donne des mortiers plastiques et onctueux facilitant la mise en œuvre des matériaux.- Moins résistance que le ciment. <p>Ne supporte pas I humidité, bien pour les murets I 'ancienne</p>
LE CIMENT	<ul style="list-style-type: none">- Le plus utilisé en construction paysagère.-Plus résistant que la chaux mats moins malléable.- Entre dans la confection de nombreux mortiers et bétons- Différents types son mis sur le marche plus ou moins résistants ou rapides de prise suivant leur composition en produits issus de la cuisson de la roche calcaire.

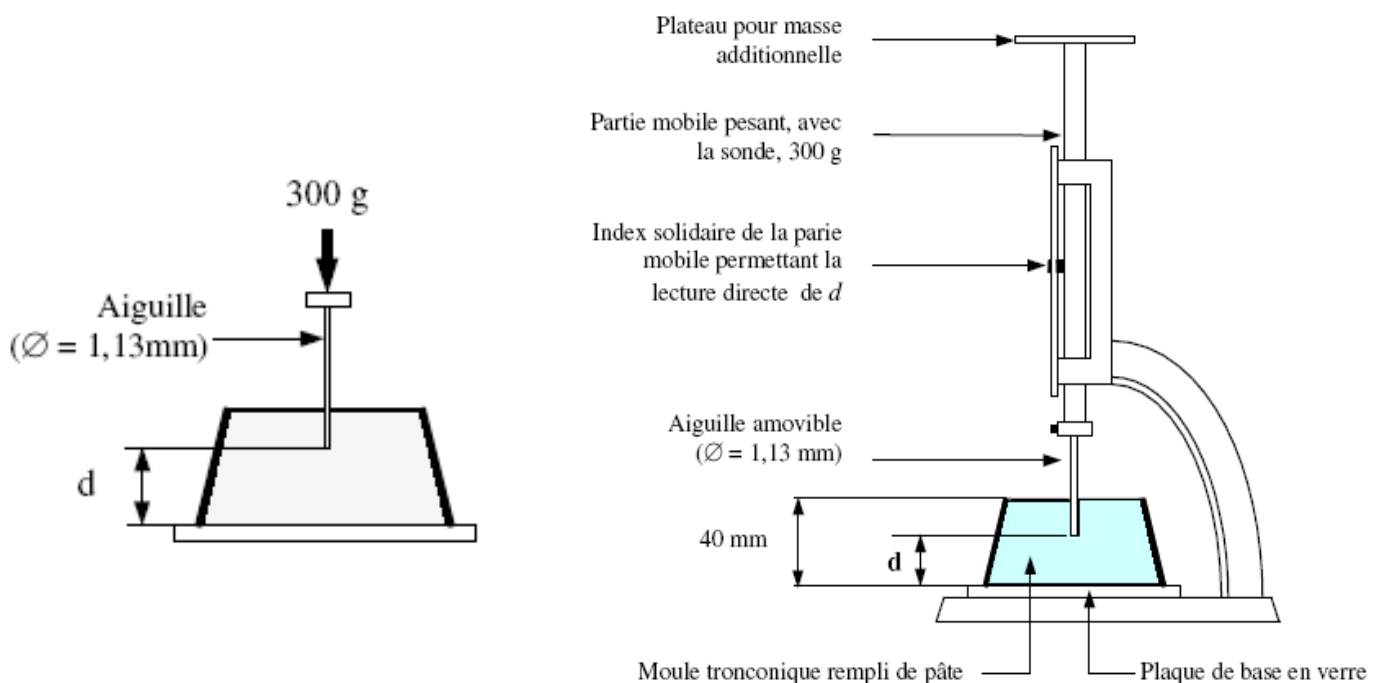
CHAPITRE II

DESCRIPTION ET PRINCIPE
FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL VICAT

Introduction

Une pâte de ciment et plâtre de qualité avec une consistance normalisée doit être utilisée les temps de début et de fin de prise ainsi que pour l'essai. Il est donc nécessaire de déterminer pour chaque ciment ou plâtre, la quantité d'eau nécessaire pour obtenir la consistance désirée. La consistance est mesurée par l'appareil de Vicat

La détermination des temps de prise qui sont mesurés à l'aide de différents accessoires montrés sur l'appareil de Vicat est effectuée à l'aide d'une aiguille circulaire de 1.13 ± 0.05 mm de diamètre. Cette aiguille sous l'effet d'un poids prédéterminé est utilisée pour pénétrer une pâte de consistance normalisée placée dans un moule spécial. Le temps de 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 ($d = 5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment ou le plâtre.



(Figure II.1) Détermination du temps de début de prise [36]

II.1 Définitions

En 1817, le jeune ingénieur Louis Vicat mène des travaux autour des phénomènes d'hydraulicité du mélange « chaux-cendres volcaniques ». Louis Vicat est le 1er à déterminer de manière précise, artificielle et contrôlée, les proportions de calcaire et de silice nécessaires à l'obtention du mélange qui, après cuisson à une température donnée et après broyage, donne naissance à un liant hydraulique industrialisable, le ciment. Mais il publie le résultat de ses recherches sans déposer de brevet.

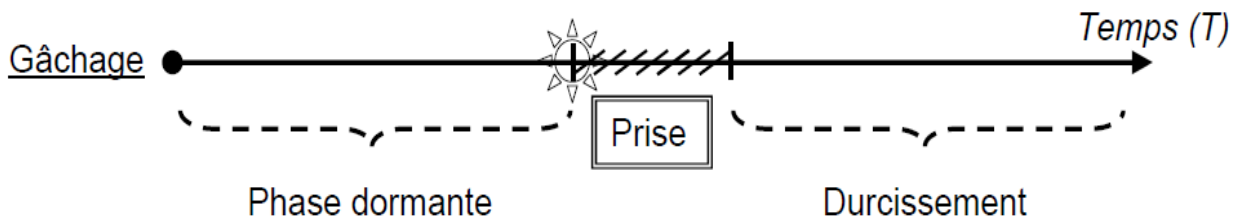
L'écossais Joseph Asdin affine la composition du ciment mis au point par Louis Vicat et dépose en 1824 le brevet d'un ciment à prise plus lente. il le baptise Portland, en raison de sa ressemblance avec une roche de la région de Portland, dans le sud de l'Angleterre. En France, la 1ère usine de ciment est créée en 1846 à Boulogne-sur-Mer

II.1.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

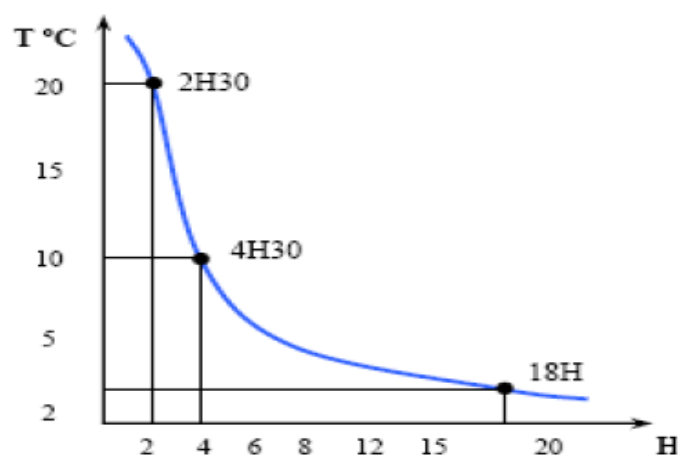
Cet instrument sert pour l'étude de la consistance d'une pâte et le temps de prise des

Liants hydrauliques. il doit répondre aux conditions suivantes :

il est constitué d'une colonne mobile avec un porte poids terminé par une aiguille de 1 mm de diamètre (l'ensemble pèse — 300g). il comprend aussi un moule tronconique de 40mm de hauteur qui se trouve sur une plaque en plexiglas. Cette dernière permet de déplacer l'échantillon (plâtre gâché). il contient aussi une règle graduée ajustable ayant une longueur de 40mm. Cette dernière sert pour la lecture de la profondeur de pénétration de l'aiguille dans la pâte de plâtre. L'essai consiste à remplir le moule avec la pâte préparée et d'amener la sonde à la surface Supérieure du moule, puis la lâcher sans vitesse initiale. L'aiguille s'enfonce et s'immobilise à une profondeur donnée La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers, après gâchage, une prise qui commence après quelques heures. il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en oeuvre in situ des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés. Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.



- La nature du ciment,
 - La finesse de mouture du ciment; plus son broyage a été poussé, plus le temps de prise est court.
 - La température; alors qu'à zéro degré la prise est stoppée, plus la température ambiante est élevée plus la prise est rapide, pour un ciment donné le début de prise sera de 18 heures à 2 °C, de 5 heures à 10 °C, de 3h 30 à 20 °C et de 30 min à 35 °C .
 - La présence de matières organiques dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise,
 - L'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise
- En fonction de leur classe de résistance, les normes spécifient un temps de prise minimum qui est, à la température de 20 °C Il est à noter que 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



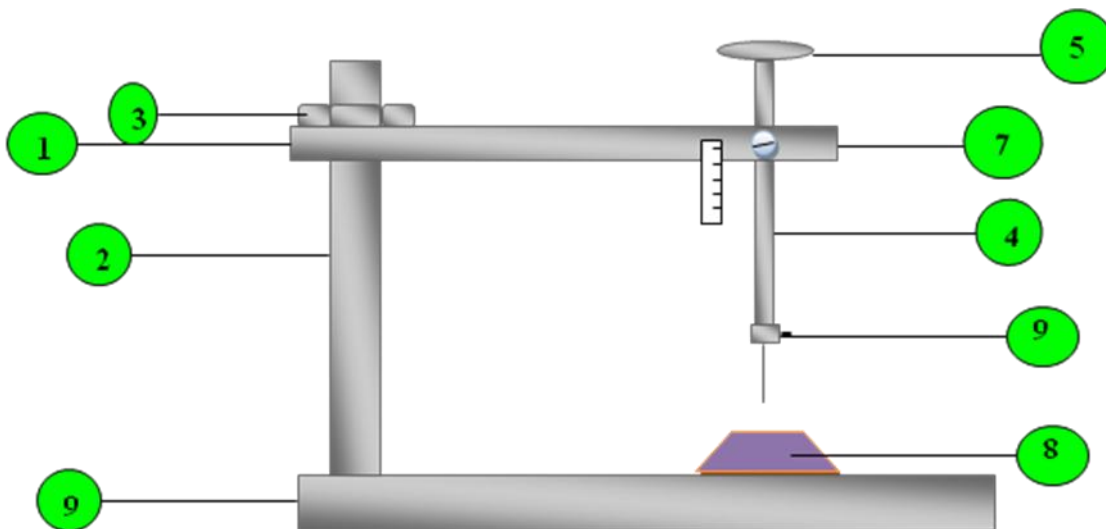
(Figure II.2) :Evolution du temps de prise en fonction de la température [35]

II.2 Les Solutions Proposées Pour Choisir L'appareil Réalisé

En fonction des moyens et des possibilités existants dans les laboratoires et les ateliers de notre département, nous proposons les trois solutions suivantes :

II.2.1 SYSTEME AVEC UN SUPPORT ET 2 TIGES FILETEES:

La (Figure II.3) montre les différents éléments constituant le dispositif.



(Figure II.3): Schéma de la 1 ères solution

A/DESCRIPTION DE LA 1 ère SOLUTION:

Le dispositif est constitué d'une plaque (1), montée sur deux tiges filetées (2). Elles servent de support. La pièce (1) est fixée aux deux tiges par les écrous (3). La plaque contient un alésage dans lequel passe l'axe mobile (4). Ce dernier est composé d'un porte poids (5) et d'un porte aiguille (6). La lecture des valeurs est effectuée à l'aide d'une règle ajustable (7) fixée à la plaque par une vis. Ce système contient aussi un moule tronconique (8), l'ensemble des éléments sont portés par la plaque (9).

B/ AVANTAGES:

- Réalisation facile.
- Montage et démontage faciles

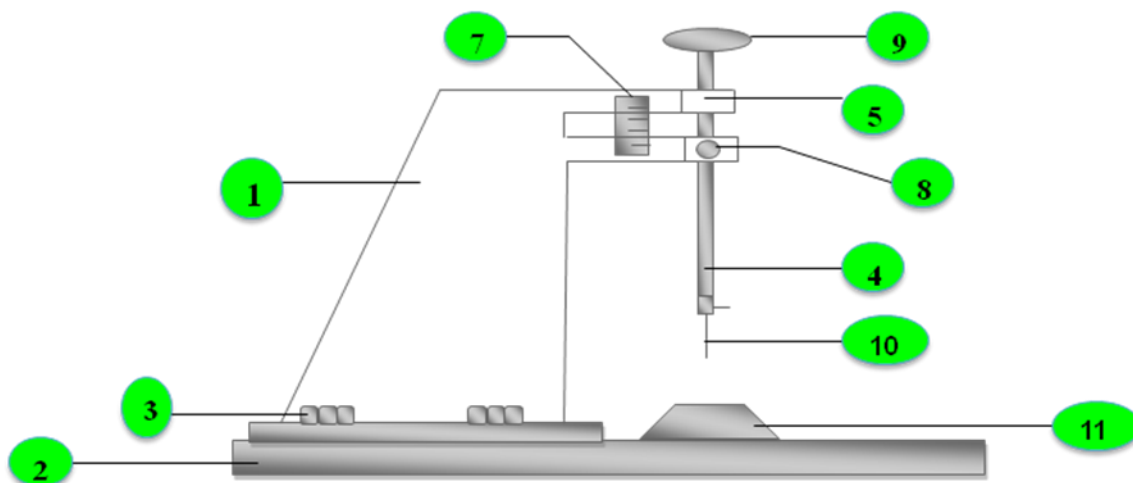
C/ INCONVENEIENTS:

- Disponibilité des pièces.
- La position de la règle (par rapport à l'axe) ne donne pas une lecture Précise
- Pas de grande précision
- Mauvais équilibre. il est difficile de garantir le parallélisme et la Perpendicularité des éléments.
- Le guidage de l'axe mobile présente un frottement.

II.2.2 système avec un support en acier

Le schéma de cette solution est représenté sur la **figure II.4**.

Elle se compose d'un support en acier (1) qui est fixé sur la plaque (2) par des boulons (3) Le guidage de l'axe mobile (4) est assuré par des guidages à billes (5) qui sont fixées à l'aide des tôles de forme (U) (6) La règle ajustable (7) est fixée sur le support avec deux vis des deux côtés. La mise au point de l'axe mobile est effectuée par la vis (8). ce dispositif contient aussi un porte poids (9), une aiguille (10) et un moule tronconique (11)



(Figure II.4): Schéma du 2ème solution

B/ avantages:

- Un meilleur guidage de L'axe mobile, absence de frottement (guidage en billes).
- Usinage facile.
- Une meilleure position de la règle (bonne précision de lecture).

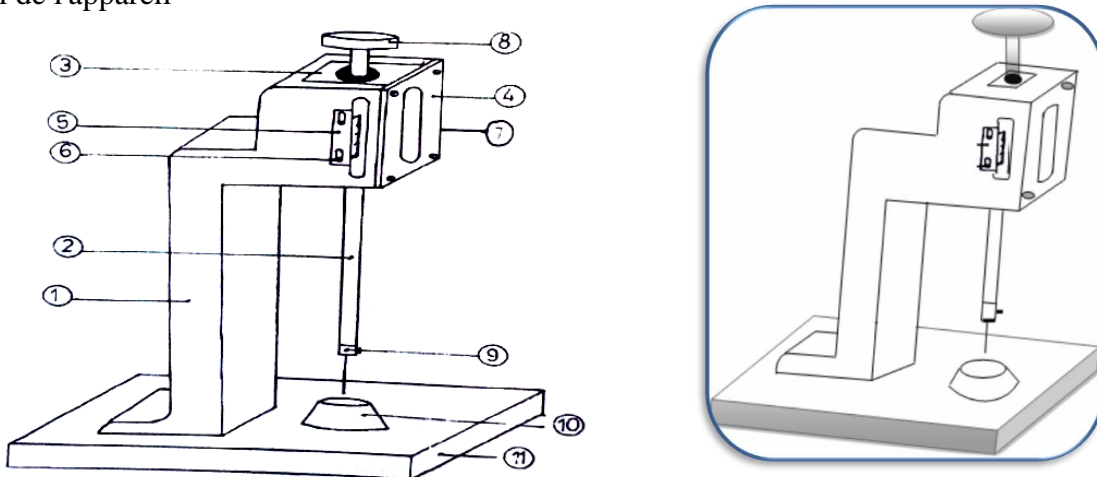
C/ inconvénients:

- Il existe un jeu entre le support et les guidages à billes.
- Le poids du dispositif important.
- La fixation de l'axe mobile.
- La fixation des guidages à billes.

II.2.3 système avec un support en aluminium

A/ DESCRIPTION DE LA 3EME SOLUTION:

Dans cette dernière solution, le support (1) est en aluminium il comporte un rainure dans laquelle passe les guidages à billes (un galet) (3). L'axe mobile (2) glisse dans ce guidage il sont fixés au couvercle (4), qui contient une rainure assurant la lecture sur la règle Le support contient une fente, dans laquelle passe la plaque qui porte la règle (5) Elle fixée par les vis (6). A l'arrêt, le blocage de l'axe mobile est effectué par la vis (7). Comme les autres solutions, se système comprend aussi un porte poids (8), un porte aiguille (9), un moule (10) et une plaque (11) comme bâti de l'appareil



(Figure II.5): Schéma du 3ème solution

B/avantages:

- La position de la règle facilite la lecture
- Le frottement de l'axe mobile est faible (guidage à galet).
- Stabilité du dispositif est meilleure.
- La fixation de l'axe mobile est assurée (avant l'essai).
- longue durée de vie du dispositif (plusieurs expériences)
- Un meilleur guidage de L'axe mobile

C/ inconvénients:

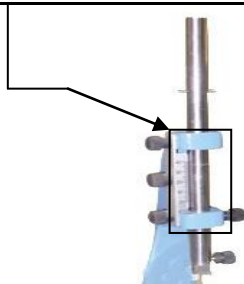
- Plusieurs procédés d'usinage pour la fabrication des pièces.
- Le dispositif est constitué d'un grand nombre d'éléments.

Remarque:

Dans les trois solutions proposées, le fonctionnement de l'appareil est le même que l'appareil originale; puisque la partie fonctionnelle est l'axe mobile.

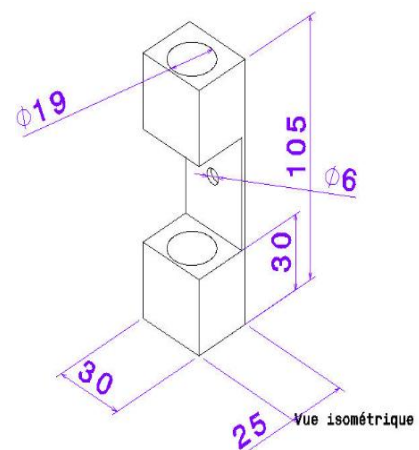
nous avons amélioré le guidage de L'axe mobile avec support de galet fabriqué dans L'atelier pour meilleur guidage et éviter les frottement

Le frottement de l'axe mobile



(**Figure II.6**) le guidage de L'axe mobile

l'appareil original

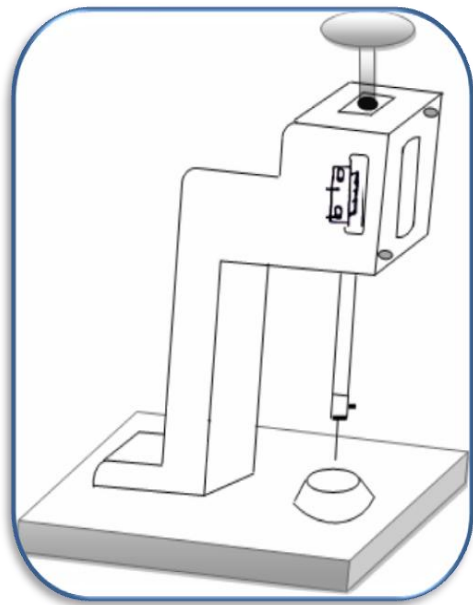


(**Figure II.7**) Support de galet fabriqué pour

Le guidage de L'axe mobile

II.4 Choix de la solution

D'après la comparaison entre les solutions proposées et en tenant compte les avantages et les inconvénients de chacune d'elles, notre choix s'est porté sur la troisième solution



(**Figure II.8**).système avec un support en aluminium

CHAPITRE III

**ETUDE EXPERIMENTALE REALISATION DU
DISPOSITIF**

Introduction

Après tout ce qui a été présenté dans les chapitres précédents dans ce chapitre Nous avons commencé l'usinage de l'appareil , L'usinage est une famille de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil.

Pour réaliser cette appareil, nous avons utilisé plusieurs méthodes de fabrication :

- Moulage (en sable)
- Tournage (dressage, chariotage)
- Fraisage (surfaçage)
- Perçage (filetage, taraudage) , taraudage

La réalisation de l'appareil est faite en utilisant les méthodes d'usinages classiques.

- **Le support:** La réalisation de cet élément est effectuée à l'aide de Moulage, En suite, fraisage, perçage et polissage avec un papier abrasif.

- **Le porte poids:** Les procédés d'usinage utilisés sont les suivants: Tournage, alésage

- **Le couvercle:** les procédés sont : Fraisage, perçage et polissage.

- **L'axe mobile:** on coupe l'axe à l'aide d'une scie en suite , Tournage (dressage, chariotage)
Les autres éléments sont récupérés directement préparés "les vis, moule, les guidages à billes".

III.1 Les Etapes de la réalisation

Tout d'abord nous avons commencé Préparation la matière première en aluminium cette matière détache lors de la coupe dans un procédé d'usinage (Les copeaux). après ca nous commencé la réalisation étape par étape

III.1.2 le moulage en sable

Le moulage est l'action de prendre une empreinte qui servira ensuite de moule dans lequel sera placé un matériau et qui permettra le tirage ou la production en plusieurs exemplaires d'un modèle. Le moulage consiste donc à placer un matériau (liquide, pâte, poudre, feuille, plaque, paraison, préforme, pastille, etc.) dans un moule dont il prendra la forme.

Dans ce travail nous avons utilisé Le moulage en sable pour la réalisation du support, cette moulage utilise un matériau réfractaire (le sable) et qui se présente sous la forme de petits grains ; on peut donc lui donner la forme qu'on veut . Cela en fait un matériau de choix pour la conception de moules ; cependant, c'est un moule à usage unique, mais que l'on peut fabriquer facilement de manière répétée.

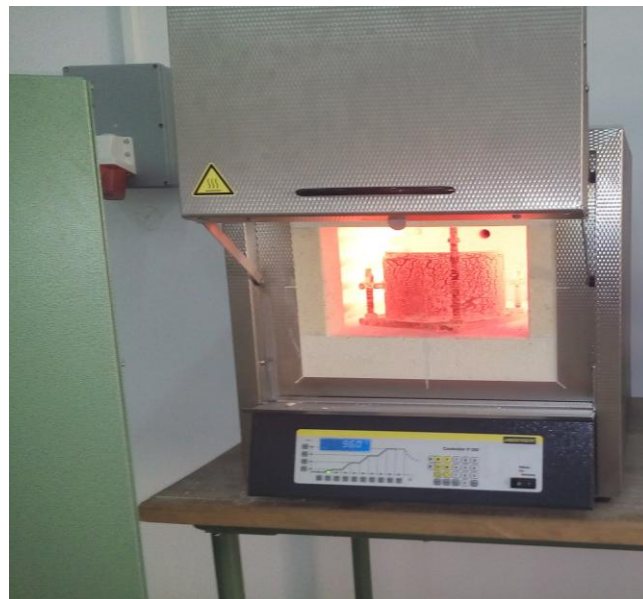


(Figure III.1) La forme de support dans le sable

Après la préparation de moule nous avons besoin d'un four pour la fusion de l'aluminium

Le four est un système de chauffage puissant, qui transforme, par la chaleur, les produits et les objets, il permet le traitement d'objets par la chaleur : poteries, céramiques, verres, métaux...etc

Pour ce travail nous utilisons le four électrique au niveau du laboratoire. Après avoir pris la matière première (Les copeaux) Et l'avoir mis dans un bac en métal et régler la température de four à 800 C° (Le point fusion de l'aluminium 660.5 C°)



(Figure III.2) four électrique la température max 1300 c°



(Figure III.3) après la fusion Mettre L'aluminium dans le moule

III.1.3- LE FRAISAGE

Le fraisage est un procédé de fabrication où l'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil de coupe, d'une part, et l'avancement de la pièce à usiner d'autre part. par coupe (enlèvement de matière) faisant intervenir, en coordination, le mouvement de rotation d'un outil à plusieurs arêtes (mouvement de coupe) et l'avance rectiligne d'une pièce (dit mouvement d'avance). Aujourd'hui, toutefois, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction. L'outil de fraisage, la fraise, comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux. Les avantages du fraisage sont un rendement élevé, un bon fini de surface et une haute précision, ainsi qu'une grande souplesse au niveau de la génération de différentes formes. Le plus souvent, le fraisage est utilisé pour produire des surfaces planes, des épaulements et des gorges

Dans cet usinage nous utilisons La fraiseuse universelle : l'axe de la broche est réglable

- tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre)
- tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (inclinée à 45°)
- tête articulée.

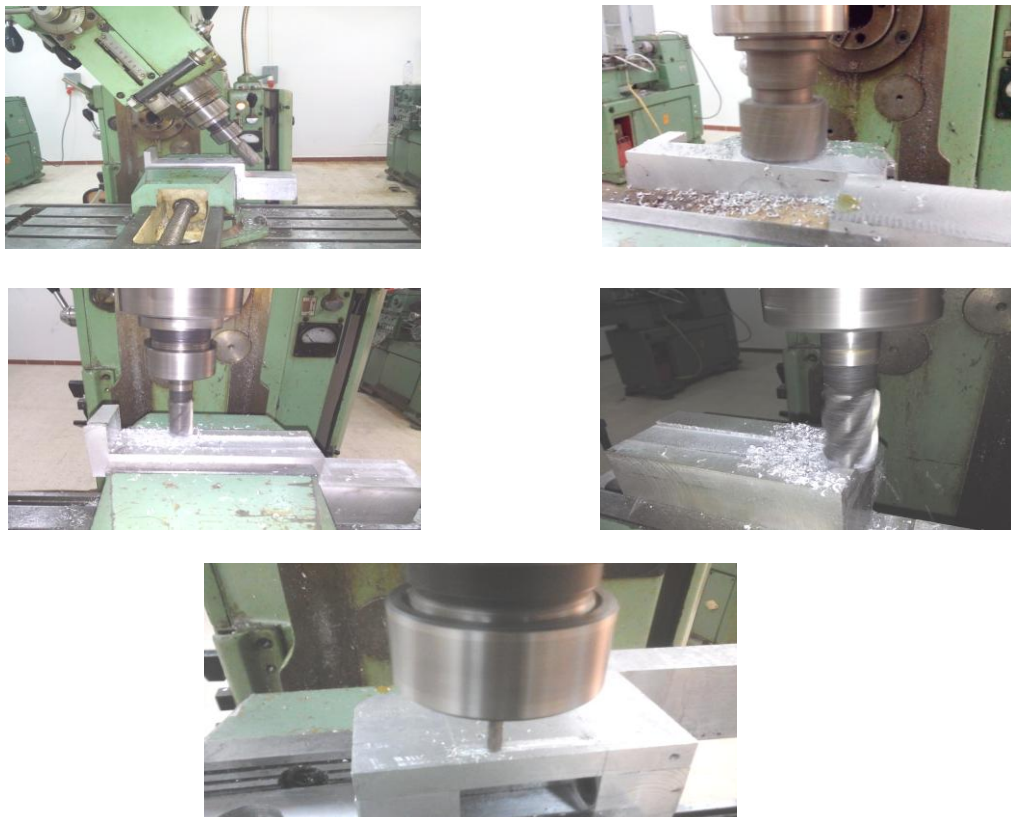


(Figure III.4) fraiseuse universelle

1) Liste des opérations

- 1- vérification du brut : au réglet ou au pied à coulisse, on vérifie que le brut est suffisamment grand (cotes extérieures de la pièce finie + épaisseur à enlever)
- 2- ébavurage d'une grande face : avec une lime ou un ébavureur (sorte de petit couteau à lame courbe), on enlève les bavures dues au découpage, pour la face qui se retrouvera en bas lors de la première opération
- 3- cubage : on usine successivement les différentes faces afin d'avoir un rectangle , c'est-à-dire dans les tolérances en termes de dimensions (cotes extérieures de la pièce finie) et géométriques (perpendicularité des faces, la planéité et l'état de surface étant assurés par le réglage de la machine et l'état de la pièce)
- 4- réalisation des différentes opérations donnant la forme finale de la pièce.

Chaque démontage de la pièce implique un ébavurage et éventuellement une vérification des cotes.



(Figure III.5) Certaines opérations usinage de support sur le fraiseuse

a) Les conditions de coupe

b) Vitesse de coupe

$$V_c = \frac{\pi \times d \times N}{1000} \qquad N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

N : fréquence de rotation tours par minute

π : constante : 3,141

d : diamètre de l'outil de fraisage

• Vc: vitesse de coupe en m/min

c) vitesse d'avance

calcul de l'avance en fraisage, qui est:

$$V_f = f_z \times Z \times N$$

Vf = avance en mm/min

fz = avance par dent en mm/(dent. Tour)

Z = nombre de dents de la fraise

N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

III.1.4 – le Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de copeaux qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tours. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandrin, ou entre pointes. il est également possible de percer sur un tour, même si ce n'est pas sa fonction première.

En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par

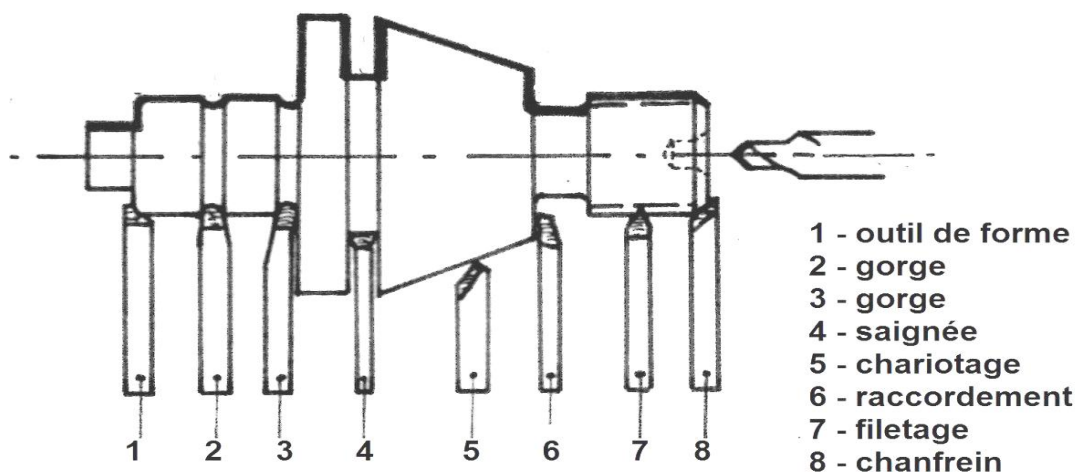
le déplacement de l'outil coupant. La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux

III.1.4.1-Les différents types d'opérations

1) Tournage extérieur

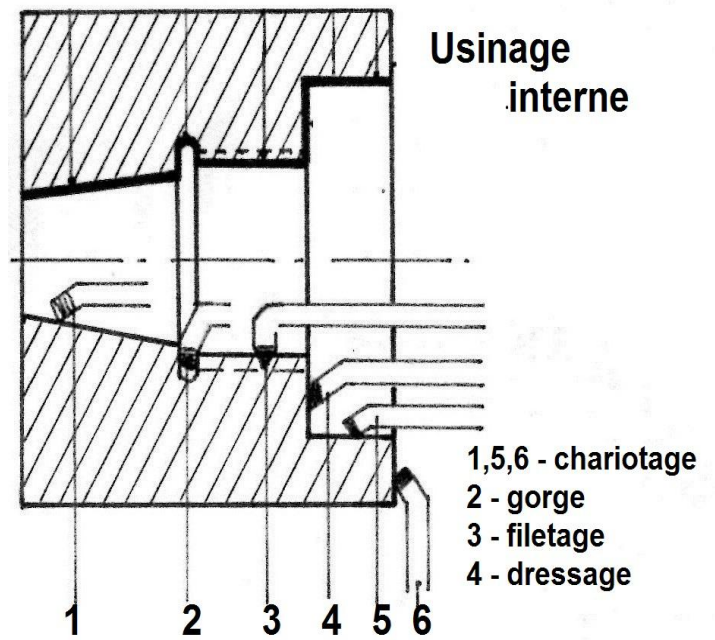
- Tournage longitudinal (chariotage, axez), réalisation d'un diamètre
- tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement
- tournage réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique
- tournage de gorges, dégagements
- filetage, réalisation d'un pas de vis
- tronçonnage.

Usinage externe



2)Tournage intérieur

- Alésage
- dressage
- tournage intérieur par contournage
- tournage de dégagement, gorges
- taraudage, réalisation d'un filetage intérieur
- chambrage

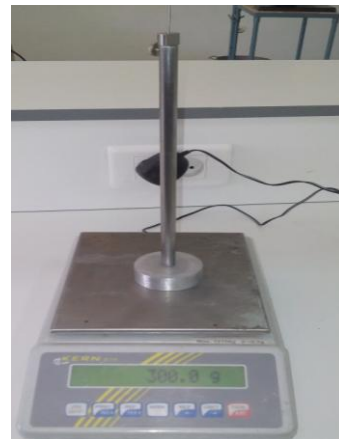


(Figure III.6) Usinage le port poids et le l'axe mobile

REMARQUE:

Après l'usinage du porte poids et du porte aiguille, nous avons pesé les éléments.

Poids " port poids + aiguille + vis de fixation + L'axe mobile " = 300g.



(Figure III.7) mesure le Poids de les éléments port poids + aiguille + vis de fixation + L'axe mobile

1) les Conditions de coupe

A) Vitesse de coupe

En tournage, la vitesse de coupe est la vitesse relative de l'outil par rapport à la pièce. Il s'agit donc de la vitesse tangentielle au point de la pièce coïncidente avec la pointe de l'outil. Cette vitesse qui s'exprime toujours en mètres par minute (m/min) se calcule ainsi:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times N}{1000}$$

avec:

- V_c : vitesse de coupe en m/min
- d : diamètre de la pièce de révolution pour le tournage (en mm)
- N : correspond à la fréquence de rotation de la pièce en tours par minute

En permutant les termes de la formule précédente, on obtient :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d}$$

Et c'est cette vitesse de rotation que l'on règle sur la machine. Il faut donc connaître dont la valeur est le plus souvent issue de méthodes empiriques. Certains organismes, comme le CETIM pour l'industrie mécanique, ont établi des tableaux de référence.

B) Vitesse Avance

En tournage, si on veut calculer la vitesse d'avance de l'outil, on applique cette formule :

$$V_f = f \times N$$

f = avance en mm/tour

N = fréquence de rotation réglée sur la machine en tr/min

III.1.5 - le Perçage et le Filetage

A- le Perçage

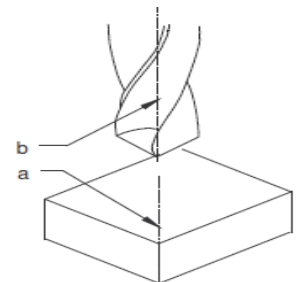
Le perçage est un usinage consistant faire un trou dans une pièce est obtenu a l'aide d'un outil de coupe appelé foret. il est animé d'un mouvement de rotation continu et d'un mouvement d'avance.



Pour effectuer un perçage correct, il est important de suivre ces étapes dans l'ordre.

Avant le perçage

Il faut vérifier que l'axe de perçage [a] et l'axe du foret [b] coïncident.



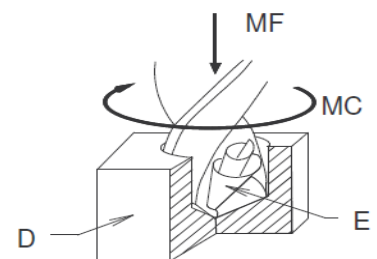
Pendant le perçage :

Le foret pénètre dans la matière. L'arête principale C la première

En contact avec la pièce à percer D coupe la matière.

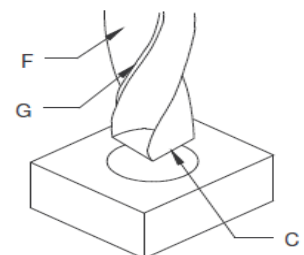
Les copeaux E sont évacués dans les formes

en creux appelés goujures F Le foret est facilement guidé grâce à ses bords de forme hélicoïdale ou listels G



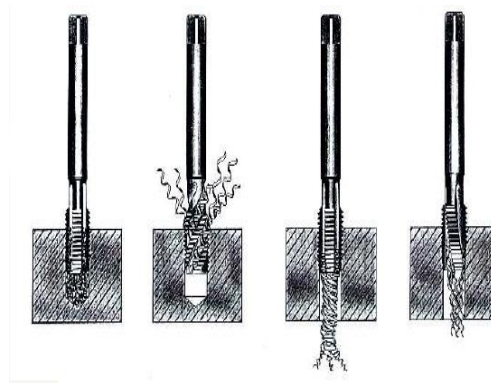
Après le perçage :

il faut ébavurer (retirer les bavures) , puis contrôler qualité et diamètre de perçage.



B- le Filetage (taroudage)

Nous utilisé Filetage manuel Les filets sont obtenus par action manuelle d'un outil appelé filière montée dans un porte-filière. La pièce est généralement maintenue dans un étau, alors que l'opérateur imprime un mouvement de rotation à la filière. Après quelques rotations, l'opérateur fera un quart ou un demi-tour en arrière pour casser le copeau avant de poursuivre son opération. Bien que la vitesse d'exécution soit faible, il est préconisé de lubrifier la denture et la surface à usiner avec un peu de suif ou une goutte d'huile pour les métaux ferreux ou une goutte de pétrole pour l'aluminium.

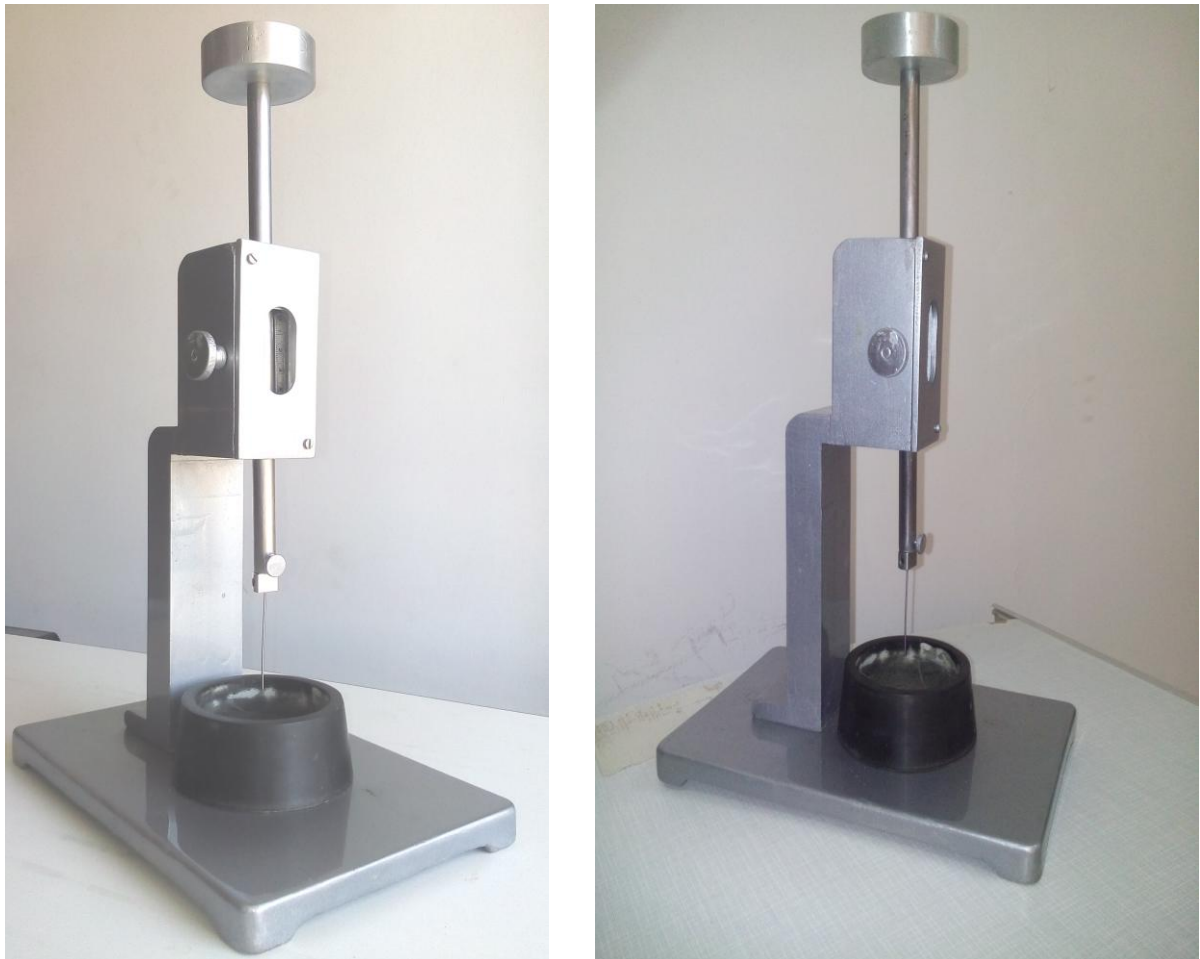


(Figure III.8) Certaines opérations de taroudage

III.1.6 montage de l'appareil:

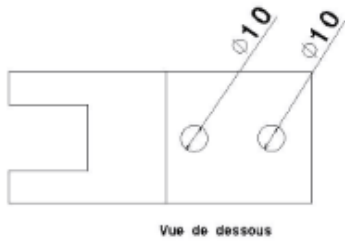
Après avoir réalisé les différents éléments du dispositif, on fait le montage. On commence tout d'abord par la fixation du support au bâti de l'appareil, ensuite les guidages à billes (galet) qui seront logés dans la rainure du support. Elles sont serrées par un couvercle.

Le porte poids et le porte aiguille sont fixés directement à l'axe mobile par un filetage. Ensuite, on place l'axe mobile dans les guidages à galet. Finalement, on fixe la plaque qui porte la règle. La **figure III.9** présente l'appareil de Vicat réalisé.

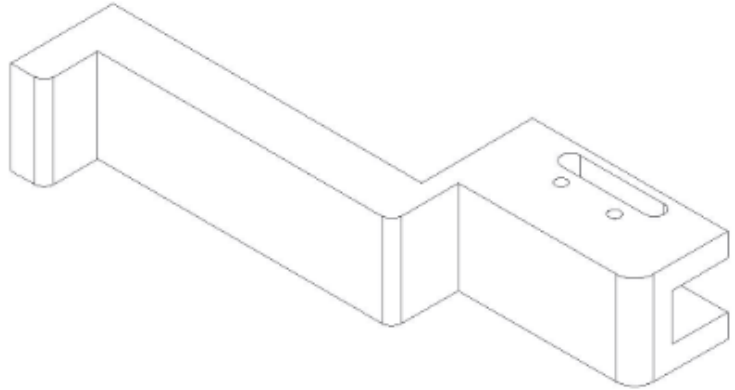


(Figure III.9) Appareil de Vicat réalisé

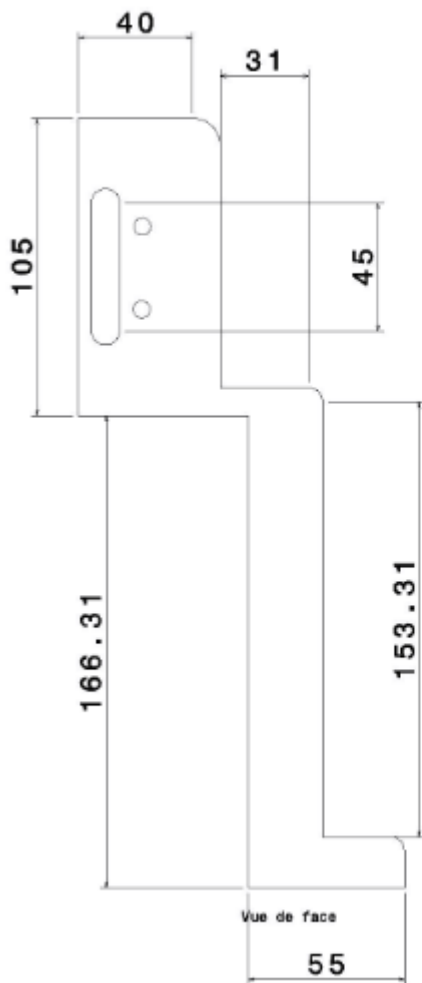
III.2- dessin pour le support



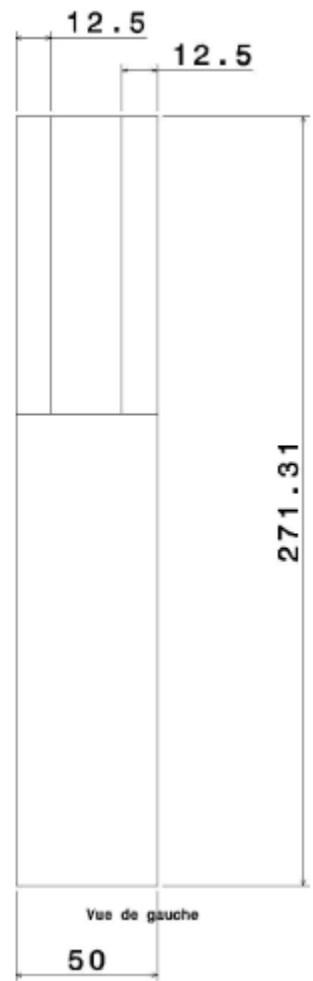
Vue de dessous



Vue isométrique
Echelle : 1:1



Vue de face



Vue de gauche

III.3- DEROULEMENT DE L'ESSAI DE PRISE PLATRES:

Nous avons déterminé le temps de prise pour deux types de plâtres : Boussaâda et Batna, gâchés avec un pourcentage d'eau de 30% à la température ambiante " de laboratoire». On a réglé les deux appareils en faisant coïncider la référence de la colonne mobile Avec le zéro des graduations de la règle quand l'aiguille est en contact avec le fond du moule. Le gâchage de la plâtres est préparé dans un seule bac avec une quantité suffisante pour Remplir les deux moules des deux dispositifs. On a amené l'aiguille au contact de la surface de la pâte et on la lâche (sans vitesse initiale) en évitant d'appuyer pour ne pas augmenter la charge qui est normalisé à 300g. La lecture des valeurs (pénétration de l'aiguille) est effectuée à chaque minute jusqu'à ce qu'elle ne s'enfonce plus dans la pâte. L'essai est réalisé en parallèle pour les deux Dispositifs. Nous avons fixé ces conditions d'essai pour garantir les mêmes paramètres de Mesure.

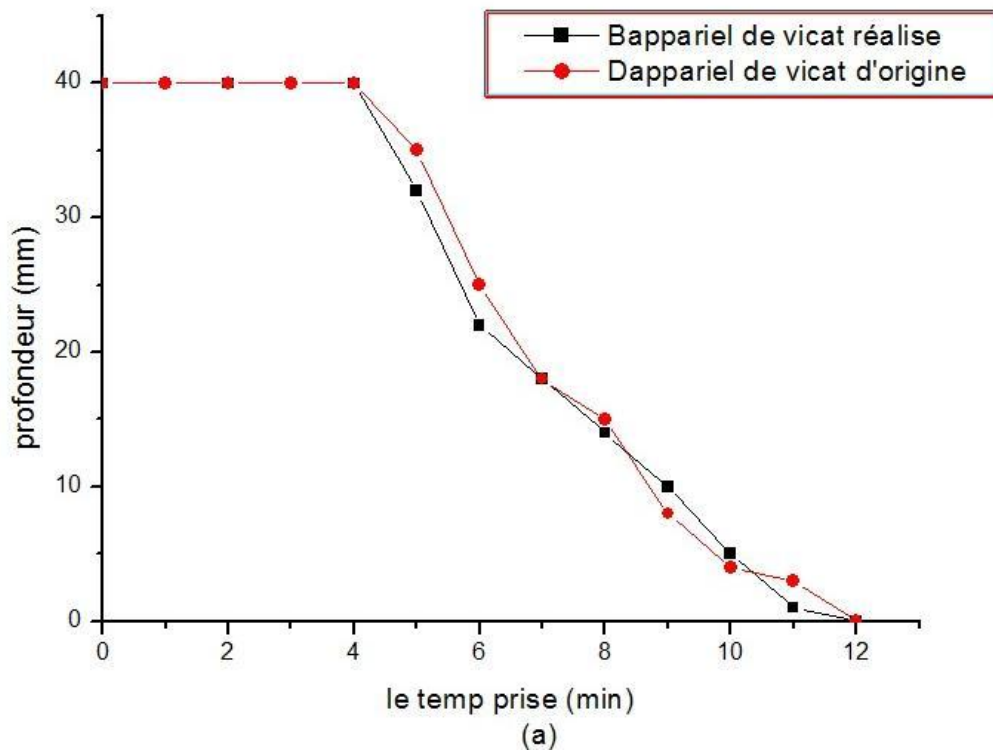
III.4 - RESULTATS :

(Figure III.10) (a et b) représente la variation de la profondeur de pénétration en fonction du temps pour les deux types de plâtre "Boussaâda et Batna", gâchés dans les mêmes conditions.

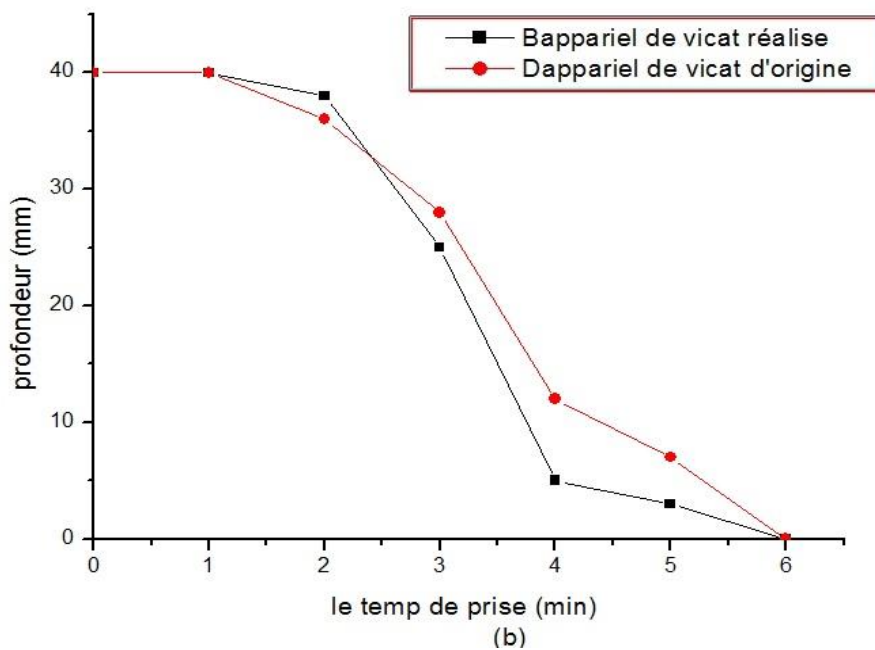
Concernant le plâtre de Boussaâda, le temps de début de prise est de 4 min, et la fin de sa prise a lieu après 12 min. Les mêmes valeurs sont identiques pour les deux dispositifs (courbes superposées) Pour le plâtre de Batna, le temps de début de prise est de 1 min, et la fin de prise 6 min pour les deux appareils. nous pouvons dire que le dispositif réalisé conduit aux mêmes résultats que ceux obtenus par

L'appareil de Vicat d'origine. Nous concluons que le dispositif fabriqué durant ce travail est Fonctionnel

Le tempe de prise de plâtre de Boussaâda avec les deux appareil



Le tempe de prise de plâtre de BATNA avec les deux appareil



(Figure III.10) La variation de profondeur de pénétration en fonction de temps du plâtre de Boussaâda (a) et Batna (b) (30%eau).

III-5 - ESSAI DE PRISE CIMENT : (NORME APPLIQUEE EN 193-3)

Les réactions qui se passent dès l'instant où l'eau est ajoutée au ciment et qui se poursuivent dans le temps sont très complexes. L'hydratation est modifiée lorsque le ciment reçoit des constituants secondaires (laitier de haut fourneau, cendres volantes de centrale thermique, etc.), ou des adjuvants chimiques. Les constituants anhydres du ciment, mis en présence d'eau donneraient naissance à une solution sursaturée. Des hydrates se formeraient dans cette solution et précipiteraient en donnant des microcristaux : cela correspondrait au début de prise. L'essai de prise doit être réalisé à une température de 20°C et à une hygrométrie supérieure à 90%.

III-6 - OBJECTIF DE L'ESSAI

L'essai de prise permet de déterminer le temps de prise, ce qui correspond au temps écoulé du moment de gâchage du ciment.

III-7 PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai est réalisé pour mesurer le début de prise sur pâte à consistance normalisée à l'aide d'un appareil simple de laboratoire qui est l'appareil classique de Vicat équipé d'une aiguille de diamètre 1.13 mm. (charge de 300g) Le début de prise est l'intervalle de temps passé entre l'instant de gâchage du liant et celui où l'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule de (4 ± 1) mm La fin de prise est obtenue lorsque l'enfoncement de la sonde n'est que 0.5 mm.

III-8 Conduite de l'essai

Avant de commencer l'essai, il faut mouiller et égoutter le godet et le batteur du malaxeur.

- 1-** Préparer une pâte à consistance normalisée. Le temps t_0 est celui de du moment de gâchage du liant.
- 2-** Remplir immédiatement de pâte le moule tronconique et Araser la surface en prenant appui sur le bord du moule.
- 3-** Régler le niveau zéro de l'aiguille
- 4-** Centrer le moule dans l'axe de la sonde, abaisser la sonde avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte, et desserrer la vis pour que la sonde pénètre sous son Poids propre dans la pâte.
- 5-** Après 30 secondes, noter la valeur de l'enfoncement (d) lue sur l'index de l'appareil

III-9 Mode opératoire :

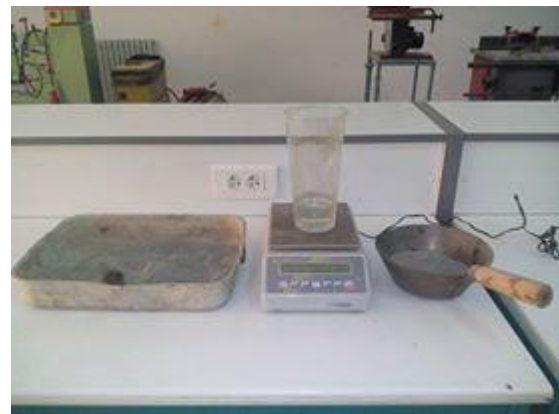
- préparer 0.5 kg de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0,26. verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment,
- mettre le malaxeur en marche (voir le tableau qui suit pour la Marche à suivre) et déclencher le chronomètre

Opérations	Introduction du ciment	Introduction de l'eau	Mettre enroute	Raclage de la cuve	Mettre enroute
Durée des opérations		5 à 10 s	90 s	15 s	90 s
Etat du malaxeur	Arrête		Vitesse lente	Arrête	Vitesse lente

Tableau de opération pour préparer la pâte e ciment

$E/C=0,26 \leftrightarrow E = C.0.26$ avec $C= 500 \text{ g}$

$E= 130 \text{ g}$



(Figure III.11) préparation la pâte de ciment aux niveaux de laboratoire

Recommencer l'opération à des intervalles de temps (~ 10-15 mn) jusqu'à ce que $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$.

(L'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule de $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$)



(Figure III.12) L'aiguille de Vicat s'arrête à une distance du fond du moule de $d = 4\text{mm}$



Conclusion Générale

A travers le sujet étudié, nous avons approfondi nos connaissances sur le matériau plâtre, sa composition chimique, sa structure, son mode de formation et de fabrication et ses Propriétés essentielles.

A partir de l'étude expérimentale, nous avons réalisé un "appareil de Vicat " pour mesurer la le temps de prise d'une pâte de plâtre et ciment La fabrication de cette dispositif à travers des copeaux (matière première) avec deux méthode moulage et usinage. après nous avons fait des essais pour contrôler le fonctionnement de l'appareil fabriqué.

L'essai de contrôle avec les deux appareils (le nôtre et l'original), les valeurs obtenus sont identiques. Cela prouve que le montage réalisé fonctionnel.

En fin comme une proposition pour les étudiants a l'avenir en essayant de faire le numérique lecture a la place de la règle.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [01] : Meille S, " Microstructure et comportement mécanique et macroscopique des matériaux:".
Thèse de doctorat 2001, ensa lyon
- [02] : Festa J, " Technique et pratique du plâtre - applications traditionnelles et modernes -2001
- [03], Meziani H, " Caractérisation des sulfates de calcium produits dans la
Région de setif. Thèse D.E.U.A I.O.M.P. Sétif 2000.
- [04] Coast J," Le plâtre traditionnel et moderne", 1979
- [05] : Benaissa S, " Analyse thermo élastique et étude de la prise des gypses de
Djemila et Guellale". Thèse D.E.U.A, I.O.M.P. Sétif 2002.
- [06] M Hamidouche, N. Bouaouadja " Comportement des plâtres produits
Dans la région de setif Laboratoire des Maté.n.M, département d'o.M P 2003
- [07] : Daligand d," PLATRE ", Techniques de l'ingénieur, C 910.1987
- [10] : Qiwu Z. "Mechano chemical changes in gypsum when dry ground with Hydrated
minerals".1994
- [11] : MST, Génie Civil, Rapport du projet de fin d'études, Tanger Maroc, 1998
- [12] : Jean Festa, Techniques et pratique du plâtre, Eyrolles, 1998
- [14] : Coquard P, " Résistance mécanique des plâtres secs et humides ". Thèse
De doctorat, Université de Droit, d'Economie et de Sciences d'Aix- Marseille III 1992
- [15] : Aoun A," Etude statique de la résistance mécanique des plâtres produits
Dans les hautes- plateaux " .Thèse D.E.U.A, I.O.M.P. Sétif 2001.
- [20] : CNERIB, " Recommandations pour la construction en plâtre " 1993
- [22] : MST, Génie Civil, Rapport du projet de fin d'études, Tanger Maroc,1998
- [28] : Le site web : www.perso.mediafiltre.com/web/master_gp/ciment.ntm.
- [29] : Y. Chérait, Z. Nafa,« Elément de matériaux de construction et essai », Direction de la publication
universitaire de GUELMA ; 2007.
- [30] : Dreux G et fastaj, « nouveau guide du béton » ; Paris édition Eyrollèse ; 1995.
- [31] : 2016-05-05 <http://bu.umc.edu.dz/theses/urbain/REB6229.pdf>

Bibliographié

[32] : Siham Kamali-Bernard, Fabrice Bernard, William Prince, b Mohammed Hjjaj, « Modélisation Tridimensionnelle et Multi échelles du Comportement des Matériaux Cimentaires - Application à la Lixiviation » (Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique - EA 3913 INSA, 20 Avenue des Buttes de Coësmes 35043 Rennes Cedex), Siham.Kamali-Bernard@insa-rennes.fr

[34] : Ramachandran V.S, Z 1986 de Chun-Mei « La dépendance de la finesse du carbonate de calcium à L'égard du comportement d'hydratation du silicate tricalcique. Longévité des matériaux de Construction, 4, 45-6

[35] : AUF : Agence universitaire de la francophonie, cours en ligne : « Matériaux de Construction : Les Ciments »

[36] : consistance_normale_Prise Ghomari F. & Bendi-Ouis A.

