



N° d'ordre :

N° de série :

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: sciences et technique

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés

Thème

Industrie du ciment

professeur examinateur: Sous l'encadrement de: Présenté par :

Naghmouche Nacer Saleh

Omar Ben mya

Hayat Khetta

Manal Houas

Juin 2011

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mon reconnaissance et mes remerciements à mon promoteur :

M^r :-Omar Ben Mya.

Je tiens à exprimer aussi mes sincères remerciements à tout travailleur dans l'usine Lafarge de M'sila :- Lotfi ,Yacine ,Salima , Assya , Hamza , Mohamed ,.....résidence universitaire :-Hassouni Ramadan 2 dans M'sila.

Mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont permis de mener à bien ce travail de près comme de loin.

Merci à tous

الملخص

من خلال دراستنا التطبيقية لصناعة الاسمنت ومن خلال المعلومات المستنتجة والتي قدمت لنا ، لاحظنا أن أهم مكون لهذه الصناعة المهمة في التشييد العمراني هو الكلانكير والحجر الكلسي ثم الجبس، حيث تختلف نسب هذه المكونات حسب نوع الاسمنت المصنع في مصنع لافارج بولاية المسيلة (شامل، متين، مقاوم) ، فنجد نسب المكونات في الشامل 64% كلانكير+33% الحجر الكلسي +3% جبس ، بينما المتين 75% كلانكير +21% الحجر الكلسي +4% جبس، في حين المقاوم 95% كلانكير +5% جبس . بالاضافة الى وجود مكونات أخرى ثانوية بنسب ضئيلة جدا.

تمر صناعة الاسمنت بمراحل وإجراءات مختلفة ، فقبل الصناعة تؤخذ عينات من المواد الأولية وتختبر من طرف المخبريين في الكيمياء و الفيزياء . حيث يتم الكشف عن نسب الكلور و الصوديوم والمقاومة النوعية.....وبعد التحليل يكتب التقرير ويسجل في الحاسوب ويتم التنفيذ والمباشرة بصناعة الاسمنت من طرف عمال المصنع. حيث تطحن المواد الأولية وتحرق وتمزج وبعد التصنيع والحصول على الاسمنت يتم التوزيع إما عن طريق الأكياس أو بالشحن المباشر في الشاحنات.

RESUME

Grâce à notre étude appliquée à l'industrie du ciment, et grâce à des informations calculées et présentées à nous, nous avons remarqué que l'élément les plus importants de cette industrie indispensable pour la construction sont le clinker, le calcaire et de gypse, où les taux varient en fonction du type de ciment fabriqué dans l'usine Lavarge W. M'sila (entier, dur, résistant). Nous avons trouvé le taux global des éléments : "64% clinker +33% de calcaire +3% gypse "pour l'entier , le dur : "calcaire 75% +21% clinker +4% de gypse», tandis que le résistant 95% clinker +5% de gypse. En plus de la présence d'autres composants mineurs de très petites quantités.

L'industrie du ciment passe par différents étapes et procédures : la première des chose c'est le prélèvement des échantillons de matières premières et faire les tests chimiques et physiques. Où on trouve les taux de chlore , sodium et de la résistivité et après avoir écrire le rapport d'analyse , nos informations sont enregistrés dans l'ordinateur et finalement l'exécution et de l'industrie du ciment par les travailleurs d'usine, et après la fabrication du ciment on passe à la distribution soit par des sacs d'expédition directe ou dans des camions.

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, l'industrie de fabrication des liants hydrauliques (ciments) a été transformée par l'arrivée de nouveaux déchets minéraux (ajouts cimentaires) tels que, les fumées de silice, les cendres volantes et les laitiers de haut fourneau. Les fumées de silice sont des particules très fines ayant une forte teneur en silice amorphe, provenant de la réduction du quartz de grande pureté (silice) par du charbon dans des fours à arc électrique. Les cendres volantes sont des particules pulvérulentes (résidus) obtenues lors de la combustion du charbon pulvérisé et utilisé dans les centrales thermiques. Les laitiers de haut fourneau sont des sous produits obtenus lors de l'élaboration de la fonte. Ces ajouts minéraux ont des propriétés hydrauliques (formation des composés hydratés stables par réaction avec l'eau) et pouzzolanique (formation des composés hydratés stables très peu solubles dans l'eau à température ordinaire par combinaison avec la chaux et en présence d'eau) intéressantes.

Le ciment avec ajout minéral se distingue par un durcissement ralenti à sa période initiale en comparaison avec un ciment Portland ordinaire sans ajout (C.P.A-C.E.M I). Cette propriété latente du ciment avec ajout minéral (C.P.J-C.E.M II), nécessite l'emploi d'un bon activant, chimique (utilisation des solutions alcalines qui modifient la prise et le durcissement), mécanique (broyage poussée du liant hydraulique) ou thermique (accélération des réactions chimiques par l'élévation de la température). La chaux est obtenue par la décarbonatation du calcaire (carbonate de calcium, CaCO_3) à partir de 900 °C. La chaux aérienne peut se présenter sous différentes formes : roche ou poudre pour la chaux vive, poudre, suspension dans l'eau (lait de chaux) ou pâte pour la chaux hydratée. Selon la teneur en argile des calcaires, on obtient différents types de chaux : la chaux grasse et les chaux hydrauliques. La chaux est employée dans différents secteurs grâce à ses nombreuses propriétés physico-chimiques (basicité, surface spécifique, réactivité, etc.). La chaux est principalement employée dans la construction (mortier de maçonnerie), pour le traitement des eaux de consommation, industrielles ou usées, traitement des sols (stabilisation), etc. L'activation du ciment au laitier par la chaux fine (hydroxyde de chaux) est une méthode simple et économique. Elle est particulièrement bénéfique pour le ciment contenant un ajout pouzzolanique moins réactif (laitier : faible réactivité). La chaux hydratée (agent d'activation de prise) joue trois principaux rôles :

- hydratation du laitier de fourneau granulé (formation des composés hydratés CSH : Tobermorite)
- Maintenir le ciment avec un $\text{pH} > 12$
- hydratation accélérée du laitier (formation d'Ettringite).

le ciment est le produit principal de ces matériaux . depuis des décennies , beaucoup de recherches ont été faites pour produire un ciment à la fois économique et de bonne qualité , pour aboutir de nos jours à un ciment rigoureusement enrôlé qui est le ciment portland artificiel (CPA) .

les composés minéralogiques qui rentrent dans la fabrication du ciment portland sont :

-CaO

-SiO₂

-Al₂O₃

-Fe₂O₃

Le but de notre travail comment l'industrie le ciment portland dans l'usine Lafarge de wilaya la m'sila.

LIST DE PROGRAMME

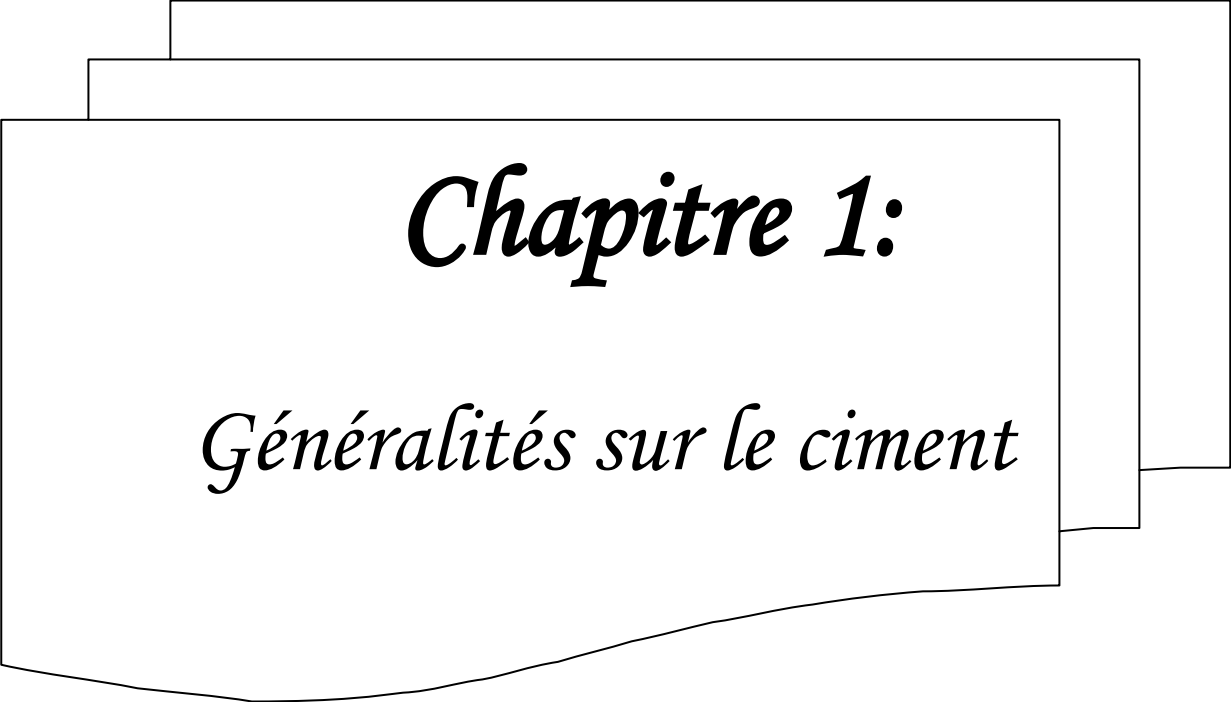
subject	page
Introduction	
Histoire du ciment	
Chapitre 1:	
Generalites sur le ciment	
Introduction	2
1-1-definition	3
1-1-1-le ciment	3
1-1-2-le clinker portland	3
1-2-les autres constituants du ciment	4
1-2-1-calcaires	4
1-2-2-cendres volantes	4
1-2-3-lesfumees de slice	4
1-2-4-schiste calcines	5
1-2-5-fillers	5
1-2-6-laitier granule de haut fourneau	5
1-3-les differents types de ciments et leurs etulisations	5
1-3-1-le ciment portland ou le ciment1	5
1-3-2-le ciment de hauts fourneaux ou cem	6
1-3-3-le ciment de pouzzolanique	6
1-3-4-leciment compose	6
1-3-5-le ciment de blanc	6
1-3-6-le ciment portland artificiel(c.p.a)	6
1-4-proprietes techniques du ciment portland	7
1-4-1-la resistance mecanique	7
1-4-2-la consistance normale	7
1-4-3-la prise du ciment	8
1-4-4-le durcissement	8
1-4-5-prise et durcissement des constituants du clinker	8
1-4-6-l'uniformite de la variation volumique	8
1-5-la chaleur d'hydratation	9
1-6-le retrait et le gonflement	9
Chapitre 2	
Fabrication du ciment	
Introduction	11
2-1-principe de fabrication ciment portland	12
2-1-1-matiere premiere	12
2-1-2-composants principaux	12
2-1-2-1- le calcaire	12
2-1-2-2-la marne	13
2-1-2-3-roches argileuses	13

2-1-3-composants secondaires	13
2-1-3-1-l'oxyde de magnesium (mgo)	13
2-1-3-2-les alcalis (le k ₂ o et le na ₂ o)	13
2-1-3-3-le soufre	14
2-1-3-4-les chlorures (cl)	14
2-1-3-5-les phosphores (p ₂ o ₅)	14
2-1-3-6-les ajouts	14
2-1-3-7-les materiaux correctifs	14
2-1-3-8-les mineralisateurs	15
2-2-operation entremet dans le fabrication de ciment	15
2-2-1-preparation du cru	15
2-2-2-la cuisson	15
2-2-3-broyage du ciment	16
2-2-3-1-broyage pour procedes en voie seche et semi-seche	16
2-2-3-2-broyage preparees en voie humide ou semi-humide	17
2-2-4-la fabrication du clinker	17
2-2-5-fabrication du ciment portland	17
2-2-5-1-extraction	17
2-2-5-2-homogeneisation	19
2-2-5-3-sechage et le broyage	19
2-2-5-4-cuisson	19
2-2-5-5-refroidissement	19
2-2-5-6-broyage	21
2-2-6-l'hydratation du ciment portland	24
2-2-7-reactions d'hydratation	25
2-2-8-principales reactions avec l'eau	25
	25
2-2-9-procede de fabrication	25
2-2-9-1-la carriere	25
2-2-9-2-gisement calcaire	25
2-2-9-3-gisement marne	26
2-2-9-4-station de concassage	26
2-2-9-4-1-concassage du calcaire	26
2-2-9-4-2-concassage de la marne	26
2-2-9-4-3-concassage du minerai de fer	26
2-2-10-hall de stockage ou de prehomogeneisation	26
2-2-11-cinétique et chaleur d'hydratation	27
2-2-12-la chaleur d'hydratation	27
2-2-13-atelier de cuisson	27
2-2-13-1-réchauffeur	27
2-2-13-2-four rotatif	28
2-2-13-3-refroidisseur a clinker	28
2-2-13-4-filtres a gravier	28

2-2-14-atelier de broyage du ciment	28
2-2-15-atelier d'expédition du ciment	29
Définition du l'usine	30
Chapitre 3:	
Analyse chimique	34
3-1- objet	34
3-2- domaine d'application	34
3-3- mode d'analyse	34
3-4- mode de prélèvement des échantillons	34
3-4-1- fréquence et test ou analyse	34
3-4-2- échantillonnage matières premières	34
3-4-2-1- calcaire chouf Amar	34
3-4-2-1-1- échantillonneur de la sondeuse en service	35
3-4-2-1-2-échantillonneur de la sondeuse hors service	35
3-4-2-2- calcaire debile, calcaire gout aya et gypse Biskra	35
3-4-2-3- calcaire debile, calcaire goutaya, argile bimbachi, gypse Biskra et gypse bellachon, minerai de fer, sable et pouzzolane ou slag	36
3-5- echantillonnage doseurs broyeur- cru	36
3-5-1- lime stone, sable, minerai de fer	36
3-5-2- preparation des echantillons au laboratoire (echantillonnage au laboratoire)	36
3-5-2-1- quartage classique	36
3-5-2-2-echantillonneur- diviseur	36
3-6-echantillonnage de la farine sortie broyeurs du cru, alimentation four, ciment sortie broyeurs ciment	38
3-6-1- la station d'échantillonnage automatique est en service: mode automatique	38
3-6-2- la station d'échantillonnage automatique est hors service: mode semi automatique	38
3-6-2-1- mixeur en service et la station d'envoi ou transport hors service	38
3-6-2-2- mixeur et station d'envoi hors service	39
3-7-hot meal : degre de calcination	39
3-8- poussieres de l'electro filtrent	39
3-9- echantillonnage clinker four	39
3-10- echantillonnage du ciment expedition sac, vrac et vrac 'big bags' et silos expedition pour controle de conformite a la livraison	40
3-11- les echantillons de ciment sortie broyeurs et ciment expeditions	40
3-12- granulometrie des concasseurs	47
3-12-1-la granulometrie a la sortie du concasseur melange est mesuree par les residus sur tamis de 60 mm et 100 mm	47
3-12-2- concasseur gypse	48
3-12-2-1-la granulometrie a la sortie du concasseur gypse est mesuree par les residus sur tamis de 25 mm et 100 mm. Elle est mesuree pour le calcaire 'lime stone'	48
3-13- confection de la pastille pour l'analyseur xrf.....50	50

3-13-1- broyage	50
3-13-2- presse	51
3-13-3- confection des perles pour l'analyseur xrf	52
3-13-3-1-selection des fondants	53
3-13-3-2-preparation	53
3-13-4- perte au feu	54
3-13-5- determination du refus pour les matieres fines	55
3-13-5-1-alpine en service	55
3-13-5-2- alpine hors service	55
3-13-6- determination de la surface specifique blaine pour le ciment.....56	56
3-14-determination de la chaux libre	57
3-14-1-determination du facteur de la chaux libre	57
3-15-determination du poids au litre du clinker four	59
3-16-calcul de degre de calcination	59
3-17-sulfates so_3 et carbonates $caco_3$ sur appareil leco.....60	60
3-18- determination des chlorures	61
3-18-1- titrage volumetrique	61
3-18-2- titrage potentiometrique	62
3-19-residus insolubles	63
3-20-determination de la conductivite	64
3-21-determination du ph	65
Chapitre 4:	
Analyse physiquo-mecanique	
4-1-la prise	69
4-2-mode operatoire	70
4-2-1-malaxage de la pate de ciment	71
4-2-2-remplissage du moule	71
4-2-3-essai de penetration	71
4-3-reprendre les essais avec d'autres quantites d'eau, si ces valeurs ne sont pas realisees	72
4-4-recommandations	72
4-5-mesure du retrait sur eprouvettes de mortier	72
4-5-1-objectif de l'essai	72
4-5-2-principe de l'essai	72
4-6-equipements necessaires	73
4-7-conduite de l'essai	74
4-8-essai de prise	74
4-8-1appareillage	74
4-8-2-reactifs	74
4-8-3-mode operatoire	74
4-8-3-1-preparation de la pate pour essai de prise	74

4-8-3-2-remplissage du moule	74
4-9-essai de penetration	75
4-10-détermination de la stabilité	75
4-10-1-definitions	75
4-10-2-équipement nécessaire	76
4-10-3-reactifs	76
4-10-4-mode operatoire	76
- chapitre analyse physiquo-mecanique 4	
4-11-remplissage du moule	77
4-12-recommandations	77
4-13-mesure des resistances a la compression et a la reaction	77
4-13-1-objectif de l'essai	77
4-13-2-principe de l'essai	77
4-13-3-appareillage	78
4-14-mode operatoire	79
4-14-1-preparation du mortier	79
4-14-2-preparation des eprouvettes	80
4-14-3-ages des eprouvettes	80
4-15-resistance a la flexion	81
4-16-resistance a la compression	82
4-17-resistance normale	82
Index	
Les reactions du cao	
Les references	



Chapitre 1:

Généralités sur le ciment

HISTOIRE DU CIMENT

L'origine du mot "ciment" est latine ; "cémentum" qui veut dire agglomérat de pierres utilisées avec de la chaux des pouzzolanes comme mortier donc ciment veut dire bloc .(8)

Le ciment est le constituant de base des bétons et des mortiers. Ce liant hydraulique artificiel permet de coller entre eux les grains de sable et les granulats.

Les mortiers et chaux sont utilisés des millénaires, les romains fabriquaient un mortier capable de prendre sous l'eau en y ajoutant de la pouzzolane.(9)

En 1817, un ingénieur français L. Vicat explique scientifiquement que l'aptitude de certaines chaux à durcir sous l'eau "hydraulicité" vient de la présence de l'argile dans les calcaires traités .(8)

Les chinois, les égyptiens les mayas construisant avec des mortier à base d'une chaux obtenue par cuisson de roches calcaires, suivie d'une extinction à l'eau .

Les romains fabriquaient des liants hydrauliques comme en témoigne Vitruve dans ses dix livres d'architecture .ils y ajoutaient de la terre broyée, ce qui améliore la prise et le durcissement pour préparer leur "opus caementicium" . nombre de constructions remarquables ont été réalisées grâce .

A ce procédé , dans tout l'empire romain : colonnade du Gard..., vers le leur siècle , les romains améliorent leur "liant" en y ajoutant des cendres volcaniques de Pouzzoles, ce qui lui permet de prendre sous l'eau.

Le principe est resté longtemps inexpliqué et fut un peu oublié jusqu'à ce que , à la fin du siècle , plusieurs ingénieurs le redécouvrent .dans cette quête parallèlement aux travaux de John Smeaton , c'est Louis Vicat (1786-1861) qui découvre les propriétés des mortiers de ciment .en charge du pont de Souillac en Dordogne , il travaille sur la mise au point de ce nouveau mortier et parvient à isoler une cendre artificielle composée de calcaire et de silice qui devient ciment . il expérimente ensuite son emploi dans les piles du pont de Souillac puis , en 1817, élabore la théorie de l'hydraulicité qui précise les proportions des différents composants nécessaires à la constitution du ciment artificiel lors de la cuisson . en 1828, Louis Vicat réalise un pont suspendu en ciment , au dessus de la Corrèze , à Argentat , qui démontre la qualité son matériau . dans les années qui suivent , Vicat parcourt la France afin de découvrir plus de trois cents carrières capables de fournir ces chaux hydrauliques et en publie les listes dans les annales des ponts et chaussées .

«Il ne cherchait ni les honneurs , ni la gloire , mais son génie en a décidé autrement .il voulait être poète il sera l inventeur du ciment artificiel . grâce a ses découvertes, le grenoblois louis Vicat permettra l audace la plus folle aux bâtisseurs de ce 19eme siècle en pleine mutation» (le cure de campagne ,Balzac) .

C'est ainsi que se met en place la base d une production industrielle de ciment artificiel. En 1824 l'écosais joseph aspidium dépose un brevet pour le ciment portland qui améliore la qualité de cette «pierre artificielle» . en France , un polytechnicien Pavin de Lafarge , installe des fours a chaux au Teil , en 1833, et la première usine de ciment crée par Dupont et Demarle a Boulogne sur mer en 1848. La fabrication de ciment de laitier date de 1890 et la de couverte du ciment fondu par Jules Bied ,de 1908.(9)

Aujourd huit , on a abouti a des techniques très sophistiquées pour le produit le plus précis et le mieux contrôle qui est le ciment portland.(8)

INTRODUCTION

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à (1450- 1550 C°) température de fusion.

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique car il a la propriété de hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

1-1-DEFINITION :

1-1-1- le ciment : Le ciment est un produit adhésif pouvant assembler des fragments ou blocs compact et résistant et est une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une laire ou une solution saline une pâte plastique liante, capable agglomérer, en durcissant, des cuistances avariées.

C'est ce qu'on appelle généralement liant hydraulique on appelle hydrauliques les liants qui gâches avec de l'eau durcissent à l'air et dans l'eau et sont insolubles dans celle-ci après avoir fait prise. (8)

1- 1-2-le clinker portland : c'est un produit, renfermant en majeure partie des silicates de calcium, obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle d'un mélange dose et homogène de matières constituées principalement de chaux (CaO), de silice (SiO_2) et en proportions moindres d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3), il présente des propriétés hydraulique .

Pour simplifier, nous appliquerons une abréviation pour désigner les composés du ciment. (8)

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont :

- le silicate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) (50-70% du clinker).
- le silicate bi calcique $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) (10-30 % du clinker).
- l'aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) (2-15% du clinker).
- l'alumine-ferrite tricalcique (Ferro-aluminates tricalcique $4 \text{CaO} \text{Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4Af) (5-15% du clinker).

Le clinker contient encore en faibles quantités. Sous forme de solution solide ou pris dans des combinaisons complexes, des alcalis (Na_2O , K_2O), de la magnésie (MgO), de la magnésie (MgO), diverses traces de métaux.

La teneur en alcalis et magnésie doit rester faible, car ces matières peuvent influencer défavorablement la stabilité du ciment durci.

À l'aide du microscope, on peut distinguer la structure minéralogique du clinker en trois phases, aux quelles les chers donnent les noms suivants :

- A : alite (phase cristallisée), se présente sous la forme de cristaux polygonaux assez grands (grains anguleux) de l'ordre de 50μ .

-B : bélite (phase vitreuse);se trouve sous forme impure dans le clinker (grains légèrement arrondis et rayés).

-C : celite (phase vitreuse légèrement foncée et claire), se trouve dans le clinker sous forme impure et de phase vitreuse. (9)

1-2-LES AUTRES CONSTITUANTS DU CIMENT :

1-2-1-calcaires : Les calcaires sont considérés comme un des constituants principaux du ciment. Il sont des roches sédimentaires, troisièmes par ordre d'abondance après les schistes et les grès, facilement solubles dans l'eau(voir karst),composées majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75% en masse mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 .Le calcaire est reconnaissable par sa teinte blanche et généralement la présence de fossiles. Il est la base de nombreux matériaux. (7)

1-2-2-cendres volantes : elles sont les produits pulvérulents grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales siliceuses (v) qui ont des propriétés pouzzolaniques ; Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydraulique et parfois pouzzolaniques. (9)

1-2-3-les fumées de silice : sont un sous –produit de l'industrie du silicium et de ses alliages elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1µm).pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85%(en masse).les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques .les fumées de silice sont capables d'intervenir selon deux mécanismes :

-L'effet granulaire : les particules de la fumée de silice étant sphériques, lisses et très petites, viennent combler les interstices entre les grains de ciment. C'est grâce à un produit défoulant que cet effet granulaire peut être obtenu et conduira à une réduction importante de la teneur en eau. C'est la forme de ces particules qui va aider à la mise en place des bétons.

-L'effet pouzzolanique : la fumée de silice, amorphe et riche en silice, peut se combiner à la chaux lors de hydratation du ciment, afin de donner des hydrates supplémentaires. Ce mélange permettra d'obtenir des bétons à haute et très haute performance. (9)

1-2-4-schiste calciné : Le schiste calciné ,et en particulier le schiste bitumineux calciné, est produit dans un four spécial à une température d'environ 800°C en raison de la composition des matériaux naturels et des procédés de production, le schiste calciné contient des phases du

clinker ,principalement du silicate bi calcique et de l'aluminate mon calcique .Il contient également, outre de petite quantités de chaux libre et de sulfate de calcium ,des quantités plus importantes d'oxydes réagissant de façon ponzzolanique , notamment SIO₂.En conséquence, le schiste calcine finement broyé présent ,outre des propriétés ponzzolanique des propriétés fortement hydrauliques, comme le ciment portland.(9)

1-2-5-fillers : Ce sont des "constituants secondaire" des ciments, donc ils ne peuvent jamais exceder 5% artificielle qui agissement par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liantes maniabilités, pouvoir de rétention d'eau. (9)

1-2-6-laitier granule de haut fourneau : Le laitier est sons produit de l'industrie métallurgique ayant de propriétés hydrauliques .Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaine scories fondues provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. (9)

1-3-LES DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS ET LEURS ETULISATIONS : (9)

Les différents types de ciment –pour la plupart disponibles en plusieurs classes de résistance correspondent à la multiplicité des contraintes :

1- 3-1-le ciment portland ou le ciment I : est un ciment contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaire.

Les ciments portland conviennent pour le béton ou le béton précontraint, coules sur place ou en préfabriqués. Ils permettent un décoffrage et une mise en service rapide. Il représente 33% de la consommation totale de ciment.

Le ciment portland compose ou CEM : contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée a 10%) pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires...Les CEM sont bien adaptés pour les travaux massifs.

Utilisation :-bétons d'ouvrages courants en élévation, dallages, maçonneries, stabilisation des sols. Il représente 53% de la consommation total de ciment.

1-3-2-le ciment de hauts fourneaux ou Cem II:-contient entre 5à64% de clinker.les autres constituants contient (36-80%) de laitier de haut fourneau.

Utilisation :-ouvrages situés en milieux agressifs, travaux souterrains, ouvrages pour eaux usées ou industrielles travaux a la mer.

1-3-3-le ciment de pozzolanique III :-Il était connu sous l'appellation CPZ, 45a89% de clinker. La pouzzolane naturelle (roche Pouzzoles, située à proximité de Naples) ou calcinée qui est ajoutée au clinker est une substance siliceuse ou silicoalumineuse.D'oigne volcanique ou de roches sédimentaires composés de SiO_2 et Al_2O_3 .

1-3-4- le ciment composé IV :-(anciennement ciment au laitier et aux cendres); contient de 20a64% de laitier de 18a50% de cendres volantes et 18a50% de laitier de haut-fourneau.

1-3-5-le ciment de blanc V :-ou extra-blanc est un ciment portland sans oxyde métallique (sorte de chaux lourde), destiné à la fabrication des carreaux de ciment ou des moulages. Il est remarquable par sa finesse et sa blancheur, ne produisant aucune gerçure sur la surface lisse. Il fut inventé en 1870. Sa prise se fait entre 6et15 heures.

1-3-6-le ciment portland artificiel (c.p.a) VI :-Le ciment portland résulte de la mouture

Soit du clinker seul.

Soit en masse (100-N) parties de clinker portland et de laitier ou pouzzolane ou mélange de portland et de laitier.

N étant au plus égal à 20.

Les ciments portland sont des liant hydrauliques composés principalement de silicates de calcium hydraulique qui font pris et durcissent en vertu d'une réaction chimique à l'eau appelée hydratation. Lorsqu'on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats (sable et gravier, pierre concassée ou autre matériau granulaire), elle agit comme une colle et lie ensemble les granulats pour former une masse semblable à de la pierre, le béton, le matériau artificiel le plus polyvalent et le plus répandu qui

Existe. (7)

1-4-PROPRIETES TECHNIQUES DU CIMENT PORTLAND

1-4-1-la résistance mécanique : L'aluminate tricalcique, en présence des autres minéraux du clinker, favorise la croissance rapide de la résistance pendant les premiers jours de durcissement. L'alumino-ferrite tétra-calcique se comporte assez activement pendant le durcissement.

On prend la résistance à 28 jours pour unité, la croissance de la résistance d'un ciment portland ordinaire serait de 0,36 à 3 jours, 0,67 à 7 jours, 1,5 à une année et 2,5 à deux ans.

Les facteurs technologiques pour leur part, ont de l'influence sur la résistance Pour augmenter sa résistance au stockage, on lui ajoute des additions hydrophobes (acide aminique, jusqu'à 0,25%). (7)

1-4-2-la consistance normale : La consistance normale caractérise les propriétés rhéologiques des pâtes. Elle consiste à la détermination de la valeur rationnelle d'E/C (eau/ciment).

C'est la quantité d'eau nécessaire pour l'obtention d'une pâte normale. Elle varie de 24 à 28% (rapporté à la masse du ciment).

Cette quantité d'eau dépend de plusieurs facteurs :

- La composition minéralogique.
- La finesse de mouture.
- La présence d'additions etc. ...

Cette quantité d'eau augment avec l'augmentation de la finesse de mouture de la teneur en aluminates, des ajouts actifs d'origine sédimentaires. (7)

1-4-3-la prise du ciment : C'est l'épaississement et la perte de mobilité de la pâte.

Une des plus importantes propriétés techniques du ciment est sa rapidité de prise. La confection des éléments devient difficile (début de prise) ou impossible (fin de prise).

Les délais de prise devront être correspondant au temps de confection des éléments.

Généralement, le gypse est utilisé en quantité de 3 à 6 %, en qualité de régulateur de prise. (7)

mécanique, parmi ces facteurs, on distingue :

- Le rapport E/C plus ce rapport est petit, plus la vitesse de croissance ainsi que la résistance finale sont grandes.
- La finesse de mouture des ciments qui est un facteur technologique caractérisée par sa surface spécifique ou surface développée du grain contenu dans une masse donnée.

A une augmentation de finesse correspond une augmentation des résistances précoces (2 et 7 jours).

On peut noter qu'une croissance de la finesse de mouture entraîne aussi la diminution de l'activité du ciment pendant son stockage.

Les conditions de stockage du ciment sont un des facteurs technologiques qui influent sur l'activité du ciment, puisque H₂O vapeur et CO₂ forment, à la surface des particules, des nouveaux produits diminuant de l'activité du liant.

- Ainsi, le stockage d'un ciment à prise rapide pendant un mois entraîne la chute de son activité.

1-4-4-le durcissement : C'est la période qui suit la prise et pendant laquelle se poursuit l'hydratation du ciment. Sa durée se prolonge pendant des mois au cours desquels les résistances mécaniques continuent à augmenter.

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température, ce qui conduit notamment en préfabrication, à chauffer les pièces pour lesquelles on désire avoir des résistances élevées au bout de quelques heures. (7)

1-4-5-prise et durcissement des constituants du clinker: Pour mieux comprendre les propriétés des ciments portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément. (7)

1-4-6-l'uniformité de la variation volumique : C'est l'indice caractérisant l'intégrité des éléments à base de pâte de ciment. Ainsi l'expansion non uniforme entraîne la destruction complète des éléments en béton. Les raisons de l'expansion non uniforme sont :

-L'oxyde de calcium fritté en quantité supérieur à 1.5 – 2%.

-L'oxyde de magnésium en quantité supérieures à 5%.

Se sont des composés qui s'hydratent lentement après la fin d'hydratation des minéraux principaux du clinker.

L'uniformité de la variation du volume entre parmi les essais de contrôle de qualité des produits. (7)

1-5-La chaleur d'hydratation :

L'hydratation des minéraux du clinker est une réaction exothermique. Cette exotherme entraînant l'échauffement de toute la masse du béton peut jouer un rôle positif ou négatif.

Pendant le bétonnage hivernal, l'exotherme ralenti le refroidissement dès la gâchée, ce qui favorise l'évolution de l'hydratation et de durcissement, autrement dit, elle est désirable. Dans les autres conditions, l'exotherme entraîne l'apparition des tensions dans la masse du béton qui peuvent donner la destruction de l'ouvrage. Il a été établi que le C3S et C3A se caractérisent, non seulement, par un grand effet exothermique, mais aussi, par la grande vitesse de son dégagement. Par contre le C2S et C4AF sont peu exothermiques et leur vitesse de dégagement de chaleur est lente. L'augmentation de la phase vitreuse dans le clinker, de la finesse de mouture et l'existence de certaines additions accélère l'hydratation et le durcissement. (11)

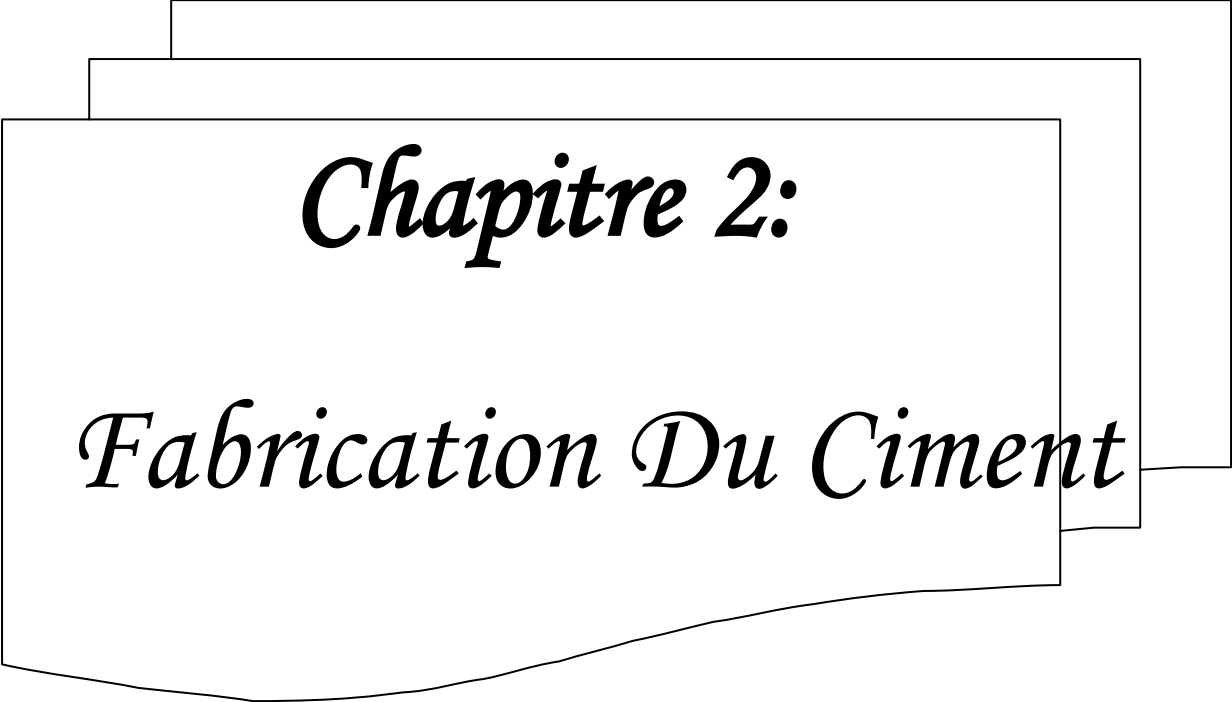
1-6-Le retrait et le gonflement :

Si l'élément en ciment ou en béton se trouvait dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait. Si l'élément se trouvait dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement.

Le gonflement entraîne aussi l'apparition des tensions internes, qui Cependant, sont moins importantes que celles du retrait.

Le retrait peut être dû au processus chimique, dans ce cas, il est appelé « contraction ».

La valeur du retrait dépend d'un grand nombre de facteurs. Ainsi, les ciments alitiques et à grande finesse de mouture ont un faible retrait. La diminution d'E/C et l'utilisation d'agréats fins donne le même effet. La valeur du retrait varie de 3 à 5 mm/m et avec le temps s'annule. (11)



Chapitre 2:

Fabrication Du Ciment

INTRODUCTION :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du **clinker** qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température de fusion.

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une **consistance** de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce **durcissement** est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

L'expression de «pâte de ciment durcissant» sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide.

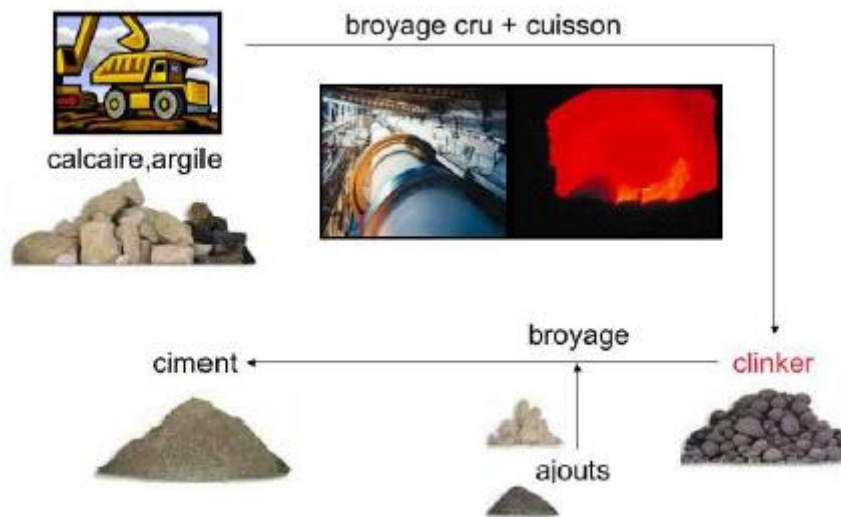


Fig 2.01 :Stades de fabrication du ciment.

2-1 PRINCIPE DE FABRICATION CIMENT PORTLAND :

2-1-1-matière première : Le constituant principal du ciment est le clinker qui est obtenu à partir. De la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion moyenne de 80 % de calcaire et 20 % d'argiles (silicoaluminates).

Ces matières premières sont présentes dans les roches naturelles, les marnes ou calcaires argileux qui ont une composition proche de 80 % calcaire- 20 % argiles, généralement des correcteurs, minéral de fer qui apporte Fe_2O_3 , bauxite (Al_2O_3), sable (SiO_2) sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée. (7)

2-1-2-composants principaux :

2-1-2-1- le calcaire : Le carbonate de calcium (CaCO_3) est très répandu dans la nature. Le calcaire possède une structure micro granulée. Sa dureté varie entre 1,8 et 3,0 dans l'échelle de Mohs et sa densité de 2,6 à 2,8. Plus le calcaire est blanc plus il est pur. Le calcaire renferme souvent des substances argileuses et des composés de fer. (7)



Fig 2. 02 : Calcaire

2-1-2-2-la marne : La marne renferme dans sa structure le calcaire, la silice, les substances argileuses et l'oxyde de fer. Sa couleur varie du jaune au gris-noir En fonction des proportions des composés carbonatés et argileux, on peut classer les roches de la manière suivante. (7)

2-1-2-3-roches argileuses : Selon son importance dans la fabrication du ciment Portland, l'argile occupe la deuxième place après le calcaire. Elle est le produit d'altération des aluminosilicates alcalins.

Les argiles se divisent en plusieurs groupes de minéraux.

1. Groupe des Kaolins ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
2. Groupe de montmorillonites ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n \text{H}_2\text{O}$).
3. Groupe des argiles contenant des alcalins ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).
- L'illite. $[\text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O}] \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$
- Le chlorite. $10[\text{Mg}, \text{Fe}] \text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$

Sa densité varie de 2 à 2,2. L'hydroxyde de fer est souvent le composant secondaire de l'argile qui lui donne la coloration. L'argile sans impuretés est blanche. (7)

2-1-3-composants secondaires : Se sont des composants dont la teneur est limitée les normes en vigueur, soit par les données expérimentales.

2-1-3-1-l'oxyde de magnésium (MgO) : Sa teneur est d'environ de 2% et se trouve en liaison avec les phases principales du clinker à l'état libre sous forme de Périclase. Le périclase avec l'eau donne l'hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$, cette réaction est très lente.(7)

2-1-3-2-les alcalis (le K_2O et le Na_2O) : Sont introduits dans le mélange des matières premières avec les argiles et les marnes. Durant la cuisson du ciment dans les fours rotatifs une partie des alcalis se volatilise dans la zone de clinkerisation et apparaît une circulation alcaline. (7)

2-1-3-3-le soufre : Dans la production du ciment, le soufre est présent dans tous les mélanges des matières premières sous forme combinée (ex . FeS_2) et dans les combustibles.

Dans la zone de cuisson, le soufre se transforme en gaz sulfureux

(SO₂), qui en réagissant avec les alcalis volatilisés et l'oxygène, forme des vapeurs de sulfate des métaux alcalins.

Les sulfates se condensent dans la zone de préchauffage et retournent dans la zone de cuisson. L'excès de (SO₂) dans la zone de préchauffage réagit avec CaCO₃ en formant CaSO₄. Dans la zone de cuisson CaSO₄ se décompose en augmentant la concentration de SO₂ dans les gaz de circulation. (7)

2-1-3-4-les chlorures (cl) : Les mélanges des matières premières contiennent souvent de 0,01 à 0,1% de chlorures (Cl) et dans les cas exceptionnels plus de 0,3%. Dans les fours, les chlorures réagissent avec les alcalis en formant les chlorures des métaux alcalins, qui seront transportés par les gaz et viendront se déposer dans la zone de préchauffage, puis il retournent dans la zone de cuisson dans laquelle ils se volatilisent et il se produit une circulation continue entre la zone de cuisson et la zone de préchauffage qui peut causer l'arrêt du four. Les chlorures provoquent la corrosion de l'acier et présente donc, un danger pour les armatures du béton. (7)

2-1-3-5-les phosphores (P₂O₅) : La teneur des phosphores dans la plupart des crus est très faible (moins de 0,25% de (P₂O₅)). Une teneur en P₂O₅ dépassant 0,5% peut provoquer la diminution de la résistance initiale du ciment. (7)

2-1-3-6-les ajouts : les matériaux correctifs, qui sont ajoutés au cru pour ajuster les teneurs en certains oxydes comme SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ les régulateurs de prise du ciment ; les minéralisateurs ; d'autres ajouts comme les fluidifiants et les entraîneurs d'air. (7)

2-1-3-7-les matériaux correctifs :

- les correctifs siliceux. le sable et le grès .
 - les correctifs alumineux. Bauxite,...
 - les correctifs ferrugineux. Minerai de fer, pyrite grillée,...
- MgO : oxyde de magnésium K₂O et Na₂O : alcalis ; SO₃ : soufre ; Mn₂O₃ : oxyde de manganèse ; P₂O₅ : oxyde phosphorique ; TiO₂ : oxyde de titane ; SrO : oxyde de strontium ; Cl⁻ : ion chlore ; F⁻ : ion fluor ; Cr₂O₃ : oxyde de chrome.(7)

2-1-3-8-les minéralisateurs : L'activation chimique du processus de cuisson se réalise grâce à des minéralisateurs accélérateurs.

- accélération de la décomposition du CaCO₃.
- accélération des réactions à l'état solide par action sur le réseau Cristallin.
- diminution de la température de formation du clinker fondu.
- augmentation de la quantité de la phase fondue.

- augmentation des coefficients de diffusion et diminution de la viscosité de la phase liquide.

On peut résumer l'effet résultant de l'emploi des minéralisateurs dans.

- l'augmentation du débit en clinker.

- l'économie de l'énergie.

- l'amélioration de la qualité. (7)

2-2-OPERATION ENTREMENT DANS LE FABRICATION DE CIMENT :

2-2-1-préparation du cru : Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃), et l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Fe₂O₃, l'oxyde ferrique. Les matières premières sont finement broyées (0,1mm) afin d'obtenir le "cru". (7)

2-2-2-la 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, fuel 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. (9)

2-2-3-broyage du ciment : Le ciment est véhiculé vers les trémies des broyeurs où il est

Finement broyé avec 3 à 5% de gypse afin de régulariser la prise Dans certains cas, en plus du gypse, on ajoute d'autres constituants tels que le laitier de Haut-fourneau, les pouzzolanes, les cendres volantes ou les fillers pour l'obtention de diverses catégories de ciment.

Compte tenu de la diversité des types de ciment demandés par le marché, les stations de broyage de la dernière génération équipées d'une séparatrice aéraulique dynamique sont les plus répandues.

Les installations de broyage les plus courantes sont les suivantes :

- le tube broyeur en circuit fermé (additions minérales relativement Limitées, sauf si elles sont pré-séchées ou sèches).

- le broyeur vertical à galets (bien adapté aux additions minérales Importantes du fait de sa capacité de séchage ainsi qu'au broyage Séparé des additions minérales).

- la presse à rouleaux (additions minérales relativement limitées, si non Sèches ou pré-séchées).

Parmi les autres systèmes de finissage, on peut citer.

- le tube broyeur à sortie en bout, en circuit ouvert.

- le tube broyeur à sortie en bout, en circuit fermé avec séparateur aéraulique mécanique ou séparateur à cyclones (plus anciens).

- le broyeur horizontal à rouleaux. (7)

2-2-3-1-broyage pour procèdes en voie sèche et semi-sèche : Les matières premières, dans des proportions soigneusement contrôlées, sont broyées et homogénéisées de façon à former un mélange de composition chimique requise. Dans la voie sèche et semi-sèche, elles sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur. Un four auxiliaire peut être nécessaire pour fournir le complément de chaleur nécessaire si les matières premières contiennent une forte proportion d'humidité et pour le démarrage du four. (7)

2-2-3-2-broyage préparées en voie humide ou semi-humide : Le broyage humide est réservé aux matières premières préparées en voie humide ou semi-humide. Leurs composants sont broyés avec de l'eau pour former une pâte. Pour obtenir le degré de finesse requis et satisfaire les critères de qualité actuels, les industriels privilégient l'utilisation d'installations de broyage en circuit fermé. Normalement, la voie humide est réservée à la préparation des matières premières contenant plus de 20 % d'eau en masse. Les matériaux comme la craie, les marnes ou l'argile qui sont collants et contiennent naturellement beaucoup d'eau sont mous et peuvent au premier stade de leur préparation, être broyés avec de l'eau. Le mélange est envoyé dans un délayeur où il est déchiqueté et écrasé par des herses rotatives ce qui le transforme en une pâte. Quand celle-ci est suffisamment fine, elle passe dans des tamis montés dans la paroi du broyeur puis elle est pompée et stockée dans des cuves.

Il faut souvent la broyer une nouvelle fois pour obtenir une granulométrie satisfaisante, en particulier si on lui ajoute une autre matière première comme le sable. Pour réduire la consommation de combustibles dans le four, l'addition d'eau au cours du broyage des matières premières est contrôlée et réduite au minimum nécessaire pour que la pâte ait la fluidité voulue et qu'elle réponde aux critères de palpabilité requis (32 à 40 % d'eau en masse).

-L'utilisation d'additifs chimiques peut permettre de la fluidifier et de réduire sa teneur en eau. (7)

2-2-4-la fabrication du clinker :

-Dans un premier temps, le calcaire élément important de la farine, va être transformé durant son passage dans un échangeur de chaleur qui aboutira à l'amont du four dans un préchauffeur. De l'air chaud provenant de celui-ci va monter à contre courant du mouvement du cru et contribuera à la décarbonatation de la craie puisque «la calcination du calcaire (carbonate de calcium) entraîne la formation de chaux vive (oxyde de calcium) et de gaz carbonique. Cette réaction s'effectue à une température voisine de 900°C [...]». Lorsque cette transformation chimique sera effectuée, la farine composée de silice, alumine, de fer et désormais de chaux.

-avancera dans le four rotatif longitudinal. La flamme, portée à 2000°C, sera alimentée par d'autres éléments combustibles comme le charbon, le fuel lourd, la coke de pétrole. De nombreuses réactions chimiques vont se dérouler dans la partie aval de celui-ci, notamment la phase solide ou l'argile se déshydrate et la craie se décarbonate, la phase solide-liquide et enfin la liquide ou le clinker se forme à 1450°C. Lors de la clinkerisation, quatre phases cristallines apparaissent. On a la tricalcique ou alite (C3S), le silicate bicalcique ou bélite (C2S), aluminat tricalcique (C3A) et l'alumino-ferrique tétracalcique (C4AF). Chaque cristal attribue une caractéristique particulière au ciment. En effet «un refroidissement rapide permet de figer le clinker dans l'état où il se trouve aux hautes températures de cuisson.

La forme minéralogique acquise lors de la clinkerisation est alors conservée aux températures ambiantes. » A la sortie du four le clinker désormais maniable sera stocké dans de grands silos. Un échantillon sera prélevé pour un contrôle. (7)

2-2-5-fabrication du ciment portland : Le ciment Portland est le produit que l'on obtient en réduisant en poudre un [clinker](#) constitué essentiellement de silicates de calcium hydrauliques auxquels on ajoute diverses formes de sulfate de calcium ([gypse](#)), du [calcaire](#) et de l'eau, ainsi que divers produits d'addition au choix du fabricant.

Les matières qui entrent dans la fabrication du ciment portland doivent contenir des proportions appropriées de [chaux](#), de [silice](#), d'[alumine](#) et de [fer](#).

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. (9)

2-2-5-1-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 naturelles à ciel ouvert. 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 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). (9)

2-2-5-2-homogénéisation : La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène. Cette opération peut être réalisée : soit dans un hall 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. (9)

2-2-5-3-séchage et le 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 (60m à 200m) rotatif (1.5 à 3 tours par minute), tubulaire (jusqu'à 6m de diamètre), légèrement incliné (2 à 3 % d'inclinaison). (9)

2-2-5-4-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, fuel 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. (9)

2-2-5-5-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.(9)

2-2-5-6-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. (9)

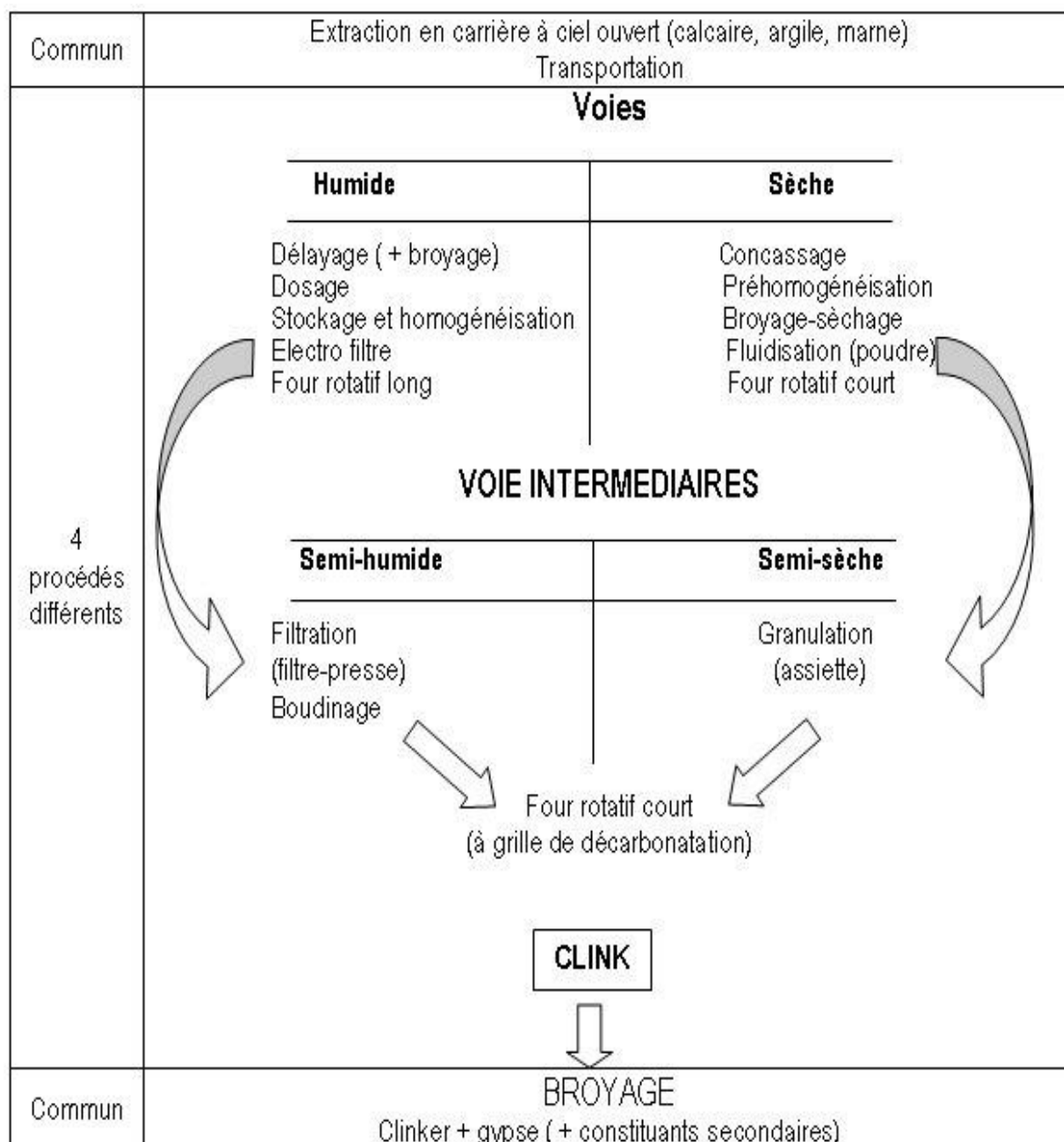


fig2.03: Le schéma de la fabrication du ciment

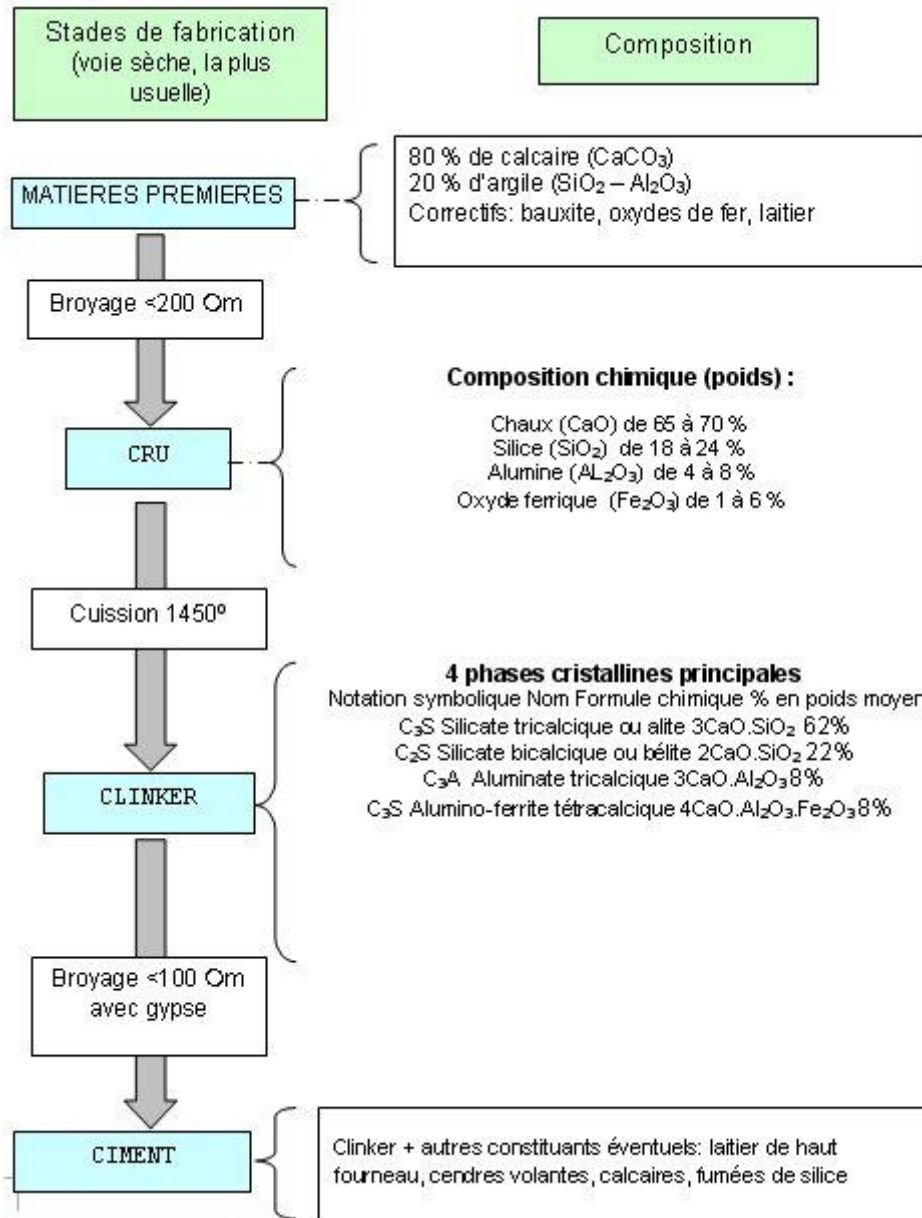


fig2.04: le Schéma de la fabrication du ciment par voie sèche

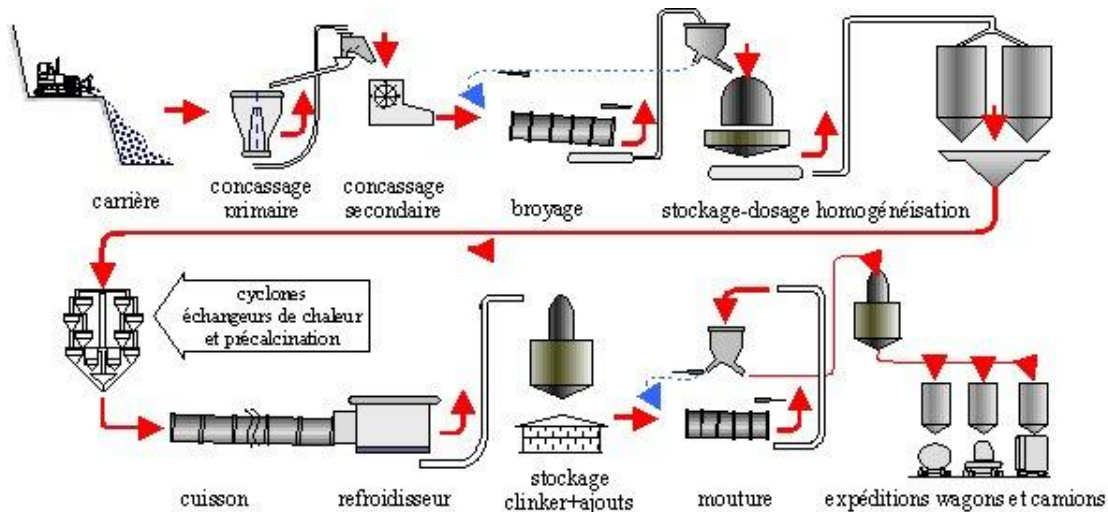


fig2.05 : Fabrication du ciment

2-2-6-l'hydratation du ciment portland : La plupart des propriétés du béton, et plusieurs aspects de sa durabilité dépendent des caractéristiques de la pâte de ciment durci. Il est donc important de comprendre la structure de la pâte de ciment hydraté (voir aussi, à ce sujet l'article de Nourredine Rafaï : La matrice cimentaire).

La prise du ciment n'est pas un séchage de la pâte après ajout de l'eau ; il s'agit d'un ensemble de réactions chimiques d'hydratation permettant le passage de la pâte de ciment (ciment additionné d'eau) de l'état liquide à l'état solide.

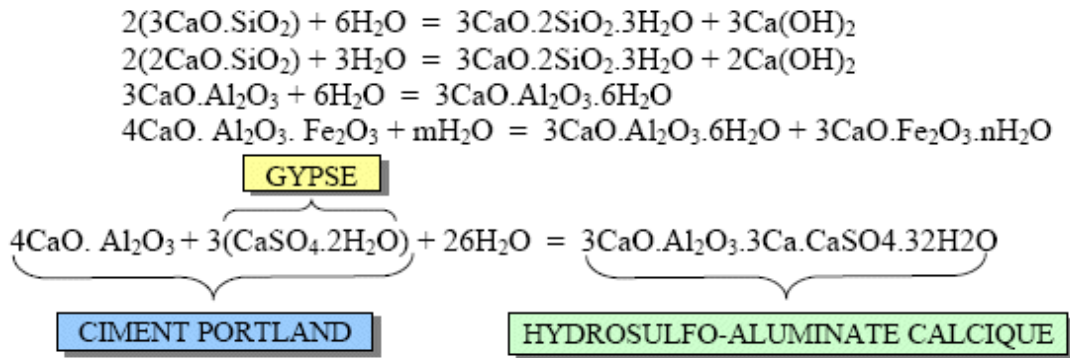
La pâte de ciment hydraté est le résultat de réactions chimiques entre l'eau et les composés du ciment. Il s'agit d'un processus complexe dans lequel les principaux composés du ciment C_3S , C_2S , C_3A , et C_4AF réagissent pour former de nouveaux composés insolubles qui entraînent la prise et le durcissement progressif du matériau.

L'étude des réactions d'hydratation des composants du ciment dissocie artificiellement des mécanismes dont le déroulement est, dans les faits, simultané. (7)

2-2-7-réactions d'hydratation : Les réactions qui se passent dès le début du gâchage et se poursuivent dans le temps sont extrêmement complexes $2CaO, SiO_2 - 3CaO, SiO_2 - 3CaO, Al_2O_3 - 4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$.

Les 4 principaux constituants anhydres donnent en présence d'eau, naissance à des silicates et aluminates de calcium hydratés pratiquement insolubles dans l'eau. (7)

2-2-8-principales reactions avec l'eau : (7)



2-2-9-procède de fabrication :

2-2-9-1-la carrière : Les formations géologiques présentes dans le bassin carrier du Tournai sis se scindent naturellement en deux groupes contrastés :

- d'une part, celles constituant le socle paléozoïque, dures et cohérentes d'âge primaire ;
- d'autre part, celles appartenant au terrain de découverte, généralement meubles ou

Faiblement indurées, principalement d'âge tertiaire. (9)

2-2-9-2-gisement calcaire : Le socle paléozoïque exploité est représenté par le calcaire de Tournai appartenant au Tournaisien Supérieur Tn3 et au Viséen Inférieur. L'ensemble constitue un puissant complexe de roches silico-calcaire, dures et compactes.

La puissance de Tn3 est, dans le bassin de Tournai, de 205 m tandis que celle du Vla est variable suivant l'endroit exploité. Il a été recoupé par sondage sur plus de 100 m à Warchin.

Les couches sont régulièrement stratifiées en bancs horizontaux ou faiblement inclinés - quelques failles radiales, orientées sensiblement Est-Ouest, dont le rejet varie de quelques mètres à plus de 100 m, découpent le gisement en une série de compartiments.

Parmi ces failles : la faille de Gaurain-Ramecroix et la faille de Monelot sont à retenir en raison de leur incidence sur les épaisseurs de gisement exploitable. (9)

2-2-9-3-gisement marne : En raison de sa friabilité, la roche de la marne est exploitée par défonçage.

Le calcaire et la marne sont alors acheminés vers la station de concassage. (8)

2-2-9-4-station de concassage :

2-2-9-4-1-concassage du calcaire : Les blocs de calcaire provenant de la carrière avec une dimension allant jusqu' à 1500 mm passent a travers deux concasseurs primaire et secondaire a percutions d une capacité de 10000 t/h pour être réduits a une granulométrie de 0 a 25 mm. (8)

2-2-9-4-2-concassage de la marne : Le concassage de la marne s effectue a travers deux concasseurs a cylindres (primaire et secondaire) de 170 tonnes par heure de capacité qui réduisent la granulométrie de la matière a une dimension de a 25 mm .

Le calcaire et la marne ainsi concasses sont transportes vers le hall de stockage. (8)

2-2-9-4-3-concassage du minerai de fer : Le minerai de fer est concasse dans un concasseur a percutions de 60 t/h de capacité et est ensuite transporte vers l atelier de broyage de matière avec une granulométrie de 0 a25 mm. (8)

2-2-10-hall de stockage ou de prehomogeneisation : Le calcaire et la marne en provenance de la station de concassage sont déverses a l aide des chariots déverseurs dans le hall de stockage sous forme de tas de $30 \cdot 10^3$ et $6 \cdot 10^3$ Tonnes de matière.

La portée de ce hall est de 30 m ; et sa longueur est de 60 m, il est dote d un pont roulant utilise pour la préparation des mélange et l alimentation des trémies des broyeurs du cru.

Chaque broyeur est relie a quatre trémies de stockage (calcaire, schiste, sable et le minerai de fer).

L alimentations des broyeurs au niveau de l atelier de broyage s effectue a l aide de soldeuse qui permet de régler le débita de la matière entrant dans le broyeur du cru.

L extraction du calcaire et de la marne s effectue à l aide de gratteurs ; les bandes transporteuses assurent leur acheminement vers l atelier de broyage. (8)

2-2-11-cinétique et chaleur d'hydratation : Les minéraux du ciment présentent des vitesses d'hydratation différentes. C3A et C3S s'hydratent plus vite que C4AF et C2S La réaction d'hydratation du ciment portland est exothermique, la quantité de chaleur dégagée par hydratation d'un gramme de ciment portland à 28 jours est de 400 – 500 joules qui se répartissent de la manière suivante, entre les silicates et les aluminates, étudiés séparément.

Le premier signal correspond aux réactions immédiates entre le C3S et l'eau (adsorption des molécules d'eau), le second effet thermique traduit la précipitation de Ca(OH)_2 et C-S-H. (7)

2-2-12-la chaleur d'hydratation : L'hydratation des minéraux du clinker est une réaction exothermique. Cette exotherme entraînant l'échauffement de toute la masse du béton peut jouer un rôle positif ou négatif.

Pendant le bétonnage hivernal, l'exotherme ralentit le refroidissement de la gâchée, ce qui favorise l'évolution de l'hydratation et de durcissement, autrement dit, elle est désirable. Dans les autres conditions, l'exotherme entraîne l'apparition des tensions dans la masse du béton qui peuvent donner la destruction de l'ouvrage.

Il a été établi que le C3S et C3A se caractérisent, non seulement, par un grand effet exothermique, mais aussi, par la grande vitesse de son dégagement. Par contre le C2S et C4AF sont peu exothermiques et leur vitesse de dégagement de chaleur est lente.

L'augmentation de la phase vitreuse dans le clinker, de la finesse de mouture et l'existence de certaines additions accélère l'hydratation et le durcissement. (7)

2-2-13-atelier de cuisson : La cuisson, au cours de laquelle s'élabore le clinker, constitue l'opération fondamentale de la préparation du ciment. Cette opération s'effectue dans un four rotatif dont la capacité est généralement importante, et qui nécessite un assez gros investissement. Le four est l'objet d'une surveillance permanente et attentive, car les conditions dans lesquelles il travaille (température, débit) doivent être maintenues dans des limites étroites. (7)

2-2-13-1-réchauffeur : C'est un échangeur de chaleur à cyclones et à quatre (4) étages dans lequel les gaz du four descendant arrivent au four avec une température de 850°C . (7)

2-2-13-2-four rotatif : La farine préchauffée est introduite dans un four rotatif de 80m de longueur, de 5,4m de diamètre, d'une inclinaison de 3,5% par rapport à l'horizontale et d'une capacité de 3.10^3 tonne de clinker par jour. Il est garni d'un revêtement intérieur de briques réfractaires et est alimenté en gaz combustible. La matière y subit les opérations de clinkerisation et sort du four sous forme de grosses billes noires clinker à une température de 1200°C . Le four est doté d'un tableau de contrôle sur lequel sont rapportées les températures, les pressions et les débits (gaz). Ceci permet de connaître à chaque instant l'état de marche du four, qui doit faire l'objet d'une surveillance attentive.

Ces fours, en tôle épaisse, sont revêtus intérieurement de chemises réfractaires.

La température de cuisson, qui atteint 1450°C dans la zone la plus chaude, est obtenue par la combustion de gaz naturel, sous la forme de billes forcées et très dures appelées ((clinker)). (7)

2-2-13-3-refroidisseur à clinker : Le clinker sort du four rotatif à une température élevée (voisine de 1100°C), et les calories ainsi importées sont récupérées dans un appareil spécial appelé : "quenching cooler". (7)

2-2-13-4-filtres a gravier : L'air servant à la trempe du clinker est envoyé vers une batterie de filtres à gravier; les poussières de clinker sont récupérées sur le transporteur du clinker. (7)

2-2-14-atelier de broyage du ciment : Dans l'atelier de broyage du cuit, il existe trois broyeurs à ciment identiques à ceux qui se trouvent dans l'usine supérieure, sauf que ceux-ci sont constitués uniquement de deux compartiments, ils ont tous un rendement élevé, ils sont dotés d'un circuit fermé assurant une parfaite régularité du ciment, ce même temps qu'un refroidissement poussé du ciment, ce qui évite le phénomène de " fausse prise " .

Dans le broyage, le clinker est avec un certain pourcentage de gypse, mais ce dernier ne doit pas être porté à une température qui transformera en plâtre (que l'on pris rapide). Chaque broyeur est alimenté grâce à deux alimentations utilisées par le clinker à un débit de 126T /h, et pour le gypse, il est de 2.5T/h environ.

Le broyage en circuit fermé, permet d'obtenir la finesse désirée du produit fini. En effet, le séparateur permet délimiter les agglomérats et de régulariser le fonctionnement de l'installation en absorbant les variations éventuelles de broyabilité de la matière. Pulvérisée est transportée par des élévateurs situés en hauteur le long de l'atelier de broyage, qui versent le ciment dans un séparateur (cyclone) qui permet le recyclage de la matière non pulvérisée vers le broyeur.

Le broyeur est traversé par un courant d'air, dont le rôle est d'emporter les particules fines au four et à mesure de leur formation (broyeur ventilé). Un filtre est utilisé pour la récupération de l'air chargé de poussière et ceci à l'aide d'un aspirant. L'air se trouvant dans la matière sortant.

La matière ainsi collectionnée est envoyée à l'aide de pompe (Fuller) à travers des conditions en «vrac» ou en«sacs». (7)

2-2-15-atelier d'expédition du ciment : Cinq silos dont trois de 1000 tonnes et deux de 5000 tonnes sont conçus pour le stockage du ciment. Après divers contrôles effectués au niveau de laboratoire, c'est l'expédition, soit après ensachage dans des sacs de 50kg soit en vrac par camions citernes. (7)

DEFINITION DU L'USINE



La wilaya de M'sila a une superficie de 18.175km² elle est limitée par Bouira et Bordj Bou-Argeridj au Nord, Batna à l'Est, Médéa et Djelfa à l'Ouest et enfin Biskra au Sud, la population de la wilaya est de 805 519 habitants.

La région de Hammam Dalaâ est composée essentiellement par les sols suivants :

-Les sols peu évolués d'érosion (C.P.C.S., 1967)

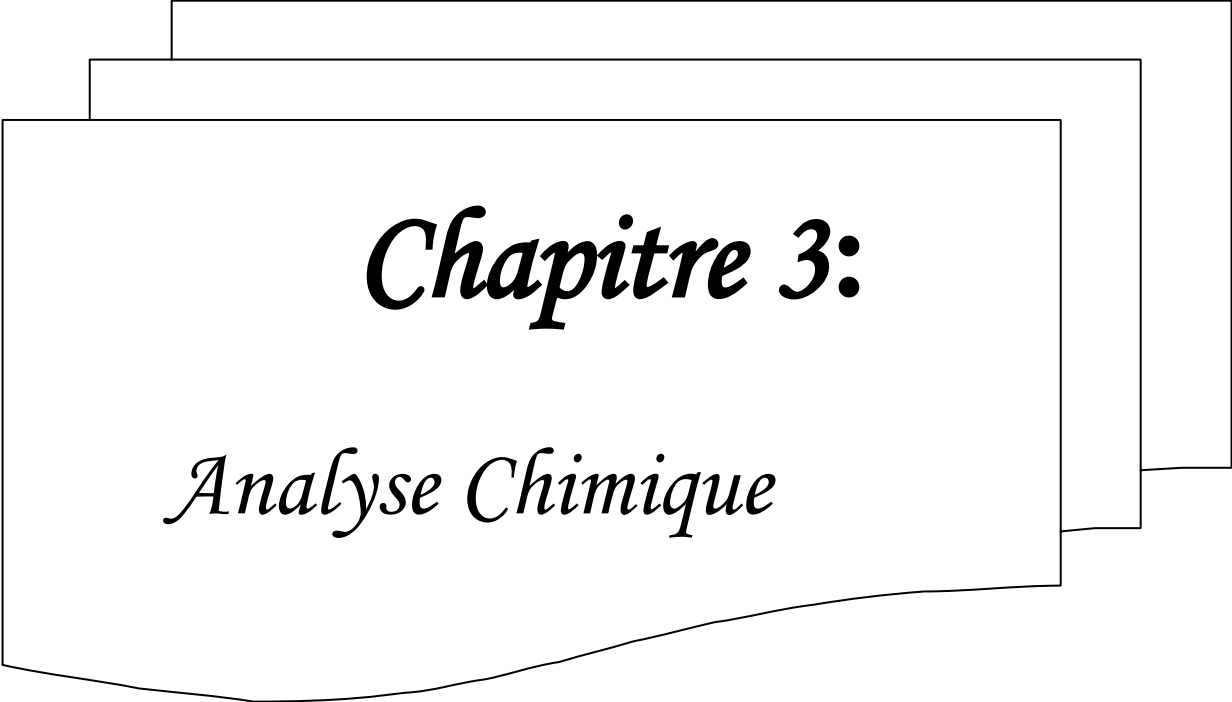
-Les sols calcimagnésiques : Ce sont des sols peu-profonds des statures équilibrées fines, de couleur noire, ces sols conviennent à une association de cultures annuelles ; plantation fruitière et parcours, caractérisés par un taux élevé d'argile : - Sols bruns calciques ; modaux, et à encroûtement, caractérisés respectivement par des profils de type A (B) C ca. Ils sont marqués par des teneurs élevées en carbonates de calcium, dues à leur développement sur calcaire dur, et sur alluvions récentes calcaires. Ceux situés en pente disposent d'un horizon A peu épais tronqué par l'érosion, d'où l'importance du couvert végétal dans la protection de ces sols. - Bruns calciques représentés par les rendzines brunifiées modales, formés sur grès non calcaires, avec un profil de type A (b) C. Le profil n'est pas calcaire, il est riche en fraction sableuse ce qui le rend perméable, et vulnérable au lessivage. D'où une évolution rapide vers un sol lessivé.

-Des sols peu évolués d'érosion : Formés sur grès (lithosols), avec un profil de type AR. Leur position topographique à 1050 m d'altitude les rend sujet à une érosion active, qui les maintient au stade peu évolué. En vue d'élargir sa nouvelle gamme et d'optimiser sa performance industrielle, le président-directeur général du groupe Lafarge, M. Bruno Laffont, et les autorités locales de la wilaya de M'sila, ont procédé cette semaine à l'installation du 5^e broyeur, qui sera opérationnel à la fin du mois de décembre.

prochain, à la cimenterie de Hammam-Dalaâ (M'sila).

Celle-ci, qui fonctionnait depuis son inauguration en 2002 avec 4 broyeurs, a connu les 4 dernières années un accroissement de 40%, selon la fiche technique de l'usine tracée en 2011. Cet accroissement a permis une évolution du groupe en Algérie, notamment avec le lancement, l'année passée, d'une nouvelle gamme élargie de produits, d'un investissement de 14,5 milliards de dinars. L'usine emploie 1 850 travailleurs, pour la plupart des Algériens, et 1 700 sous-traitants, et produit de 4,5 à 5 millions de tonnes/an de ciment.

La cimenterie Lafarge de M'sila a repris ses activités après par les 630 travailleurs. Cette reprise résulte de l'accord signé entre la direction de Lafarge et la section syndicale de l'usine, après une longue journée de pour parlers sous l'égide des autorités de la wilaya.



Chapitre 3:

Analyse Chimique

DOCUMENTATION DE REFERENCE.

- Norme NA 442
- Norme NA 443
- Norme EN 196-1
- Norme EN 196-2
- Norme EN 196-3

3-1- Objet:

La présente instruction établie la méthode d'analyse chimique et physico mécanique des matières premières, des produits en cours de fabrication et le produit fini.

3-2- DOMAINE D'APPLICATION:

Cette instruction s'applique pour l'analyse chimique des matières premières, les produits en cours de fabrication et le produit fini.

3-3- MODE D'ANALYSE:

- Système 'CUBIX XRF' en Service.

L'analyse chimique se fait sur pastille préparée

- Système d'échantillonnage sur la chaîne de fabrication en mode automatique ou manuel.

- Les autres tests de caractérisation soit en chimie analytique soit aux essais physiques ont lieu conformément aux modes opératoires.

3-4- MODE DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS :

3-4-1- Fréquence et test ou analyse:

-La fréquence et test ou analyse d'échantillonnage a lieu

3-4-2- Echantillonnage matières premières:(2)

3-4-2-1- Calcaire Chouf Amar:L'abattage se fait sur chaque gradin et par volée. Chaque gradin est subdivisé en parties A (Ouest), B (Médium) et C (Est).La profondeur du gradin est d'environ 20 mètres sauf pour la couche d'ouverture qui est comprise entre zéro et 20 mètres.

3-4-2-1-1- Echantillonneur de la sondeuse en service:L'échantillonneur automatique de la sondeuse est réglé en fonction du temps qui à son tour est fonction de la profondeur de prise d'échantillon. Le diamètre du trou de forage est de 110 mm.L'échantillon de chaque trou de forage est d'environ 1000 grammes et celui collecté par partie de volée est de 5 à 6 kilogrammes par volée environ. Soit environ 20 kilogrammes par tir d'abattage.La maille de forage est généralement de 4x4 mètres. Une volée peut être constituée d'une ou plusieurs rangées de trous de forage...

3-4-2-1-2-Echantillonneur de la sondeuse hors service:On procède par quartage de la matière des cutting 'résidus de forage' L'échantillon est d'environ 5 à 6 kilogrammes.

3-4-2-2- Calcaire Debil, Calcaire Goutaya et Gypse Biskra:L'échantillonnage se fait par la méthode classique de quartage sur la matière de forage. L'échantillon est d'environ 5 à 6 kilogrammes.



Fig 3;01: Préparation d'un échantillon avant le diviseur

3-4-2-3- Calcaire Debil, Calcaire Goutaya, Argile BirMadhi, Gypse Biskra et Gypse Belahcen, Minerai de Fer, Sable et Pouzzolane ou Slag:Les échantillons sont pris au niveau des aires de stockage de chaque type de matière. La prise d'échantillon se fait selon des diagonales en dent de scie sur le front du tas. La quantité de matière collectée par type de matière et d'environ 3 à 6 kilogrammes, et l'échantillon ainsi recueilli est codifié suivant le plan PMSP 00.

A partir des échantillons prélevés, constituer un échantillon moyen représentatif, bien homogénéisé en utilisant le diviseur à ouvertures variables jusqu'à l'obtention d'une quantité convenable pour la détermination de l'humidité.

- Après la détermination de l'humidité, procéder au concassage de l'échantillon, puis le passer par le diviseur encore pour obtenir une quantité de 100 à 200gr.
- Prendre une petite quantité d'échantillon pour laver le disque broyeur (pour prévenir toute contamination). De nouveau placer une quantité suffisante dans le disque broyeur pour préparer une pastille d'analyse.
- Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.
- Envoyer le rapport d'analyse aux parties intéressées.
- Garder un échantillon témoin de chaque type de matière, pour une durée de 2 mois

3-5- ECHANTILLONNAGE DOSEURS BROEUR- CRU:(2)

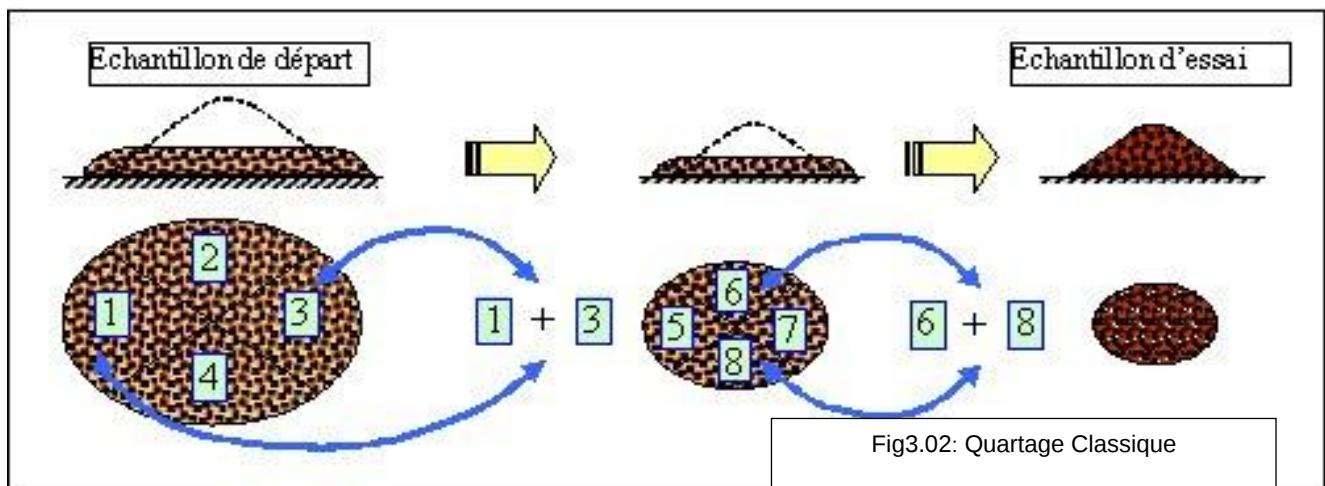
3-5-1- Lime Stone, Sable, Minerai de Fer:

-Prélever, une fois par poste, environ 02 kilogrammes de matière au niveau de la bande de chaque doseur.

- Constituer des échantillons composites pour tous les postes.
- Déterminer l'humidité et effectuer l'analyse chimique .
- Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

3-5-2- Préparation des échantillons au laboratoire (échantillonnage au laboratoire):

3-5-2-1- Quartage Classique:Le passage de l'échantillon total prélevé sur site à l'échantillon nécessaire à l'essai, peut se faire par quartageou à l'aide d'un échantillonneur diviseur.



3-5-2-2-Echantillonneur- Diviseur:Cet appareil de laboratoire, permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques.Le procédé peut être résumé par la figure. Celle-ci permet de sélectionner une masse (m) à partir d'un prélèvement de masse 3m.

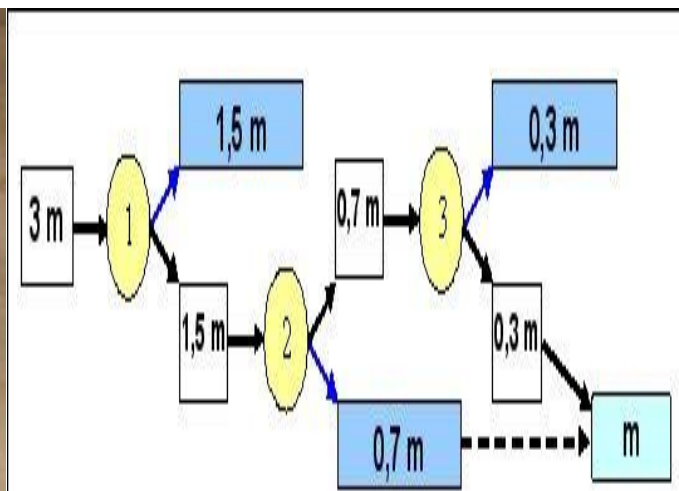


Fig 3.05: Concassage et pré broyage d'un échantillon



3-6-ECHANTILLONNAGE DE LA FARINE SORTIE BROyeurs DU CRU, ALIMENTATION FOUR, CIMENT SORTIE BROyeurs CIMENT:(2)

3-6-1- La station d'échantillonnage automatique est en service: Mode automatique:

- L'échantillonneur automatique étant en service, la fréquence d'échantillonnage est réglée sur le QCX.
- Homogénéiser la matière contenue dans chaque capsule.
- Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX.
- Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

3-6-2- La station d'échantillonnage automatique est hors Service: Mode Semi automatique:

3-6-2-1- Mixeur en service et la station d'envoi ou transport hors service:

- Prélever la totalité de l'échantillon à partir du collecteur en dessous du mixeur et le transférer dans un sac propre.
- Bien homogénéiser, prendre une quantité assez représentative pour analyse.
- Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX,
- Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

3-6-2-2- Mixeur et Station d'envoi hors service:

-Prélever, dans un sac propre et sec en plastique à partir de l'Aéroglossière, r un échantillon d'environ 1.5 kilogramme par de petites quantités de 200 grammes chaque 05 minutes et sur un intervalle de temps d'au moins 15 minutes selon la fréquence indiquée plus haut.

-Prendre un échantillon, puis bien l'homogénéiser.

-Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX.

-Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

N.B : Pour le Pré broyage des échantillons sur broyeur à disque.

3-7-HOT MEAL : DEGRE DE CALCINATION:

-Ouvrir, avec précaution, la porte visite située sur le cône du cyclone C5. Attention aux projections en cas de pression dans la tour Pré chauffeur, laisser la porte de visite ouverte quelque temps pour mettre en équilibre les pressions dans la tour.

-A l'aide de l'échantillonneur propre destiné à cet effet, prendre avec précautions une quantité d'environ 500 grammes, laisser l'échantillonneur plongé pendant environ 2 à 3 minutes.

-Laisser refroidir légèrement puis transférer environ 50 grammes dans un flacon puis boucher hermétiquement, ramener au Laboratoire.

-Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels pour la salle de contrôle par 'Accept ou Reject' sur le QCX.

-Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

3-8- POUSSIÈRES DE L'ELECTRO FILTRENT:

-Introduire l'échantillonneur destiné à cet effet dans la porte visite située sur l'Aéroglossier en dessous de la trémie des poussières.

-Rincer l'échantillonneur avec la première prise, et prendre un échantillon représentatif. Le ramener au laboratoire.

-Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

3-9- ECHANTILLONNAGE CLINKER FOUR:

-Ouvrir la porte visite du refroidisseur ou directement sur le transporteur, avec précaution, prendre à l'aide de l'échantillonneur le clinker, et tamiser et collecter la fraction entre les tamis de 10 mm et 05 mm.

-Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX.

-Collecter la totalité des échantillons horaires pour la constitution de l'échantillon moyen, l'équipe jour se chargera de son traitement et son analyse.

-Enregistrer les résultats d'analyse.

-et envoyer le rapport à la structure concernée.

3-10- ECHANTILLONNAGE DU CIMENT EXPEDITION SAC, VRAC ET VRAC 'BIG BAGS' ET SILOS EXPEDITION POUR CONTROLE DE CONFORMITE A LA LIVRAISON:

-Contacter le chef de quai pour définir le N° du silo en exploitation (Process 03), et puis à partir de la machine en service ou de l'Aéroglossière vers la bouche vrac en service, prendre par la trappe un échantillon de 05 kg (respecter l'intervalle de 30 min durant l'échantillonnage).

-Bien identifier l'échantillon par (N° Silo).

-Valider les résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX.

-Délivrer l'autorisation de chargement pour le ciment CRS : modèle ci joint.

-Enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

N.B : La validation des résultats d'analyse et les résultats manuels par 'Accept ou Reject' sur le QCX.

3-11- LES ECHANTILLONS DE CIMENT SORTIE BROyeurs ET CIMENT EXPEDITIONS:



Broyeur à Bouletsfig3.06:

-Constituer un échantillon composite de 24 heures des échantillons recueillis pour analyse chimique complète et caractérisation complète aux essais physiques et mécaniques.

-Valider et enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet.

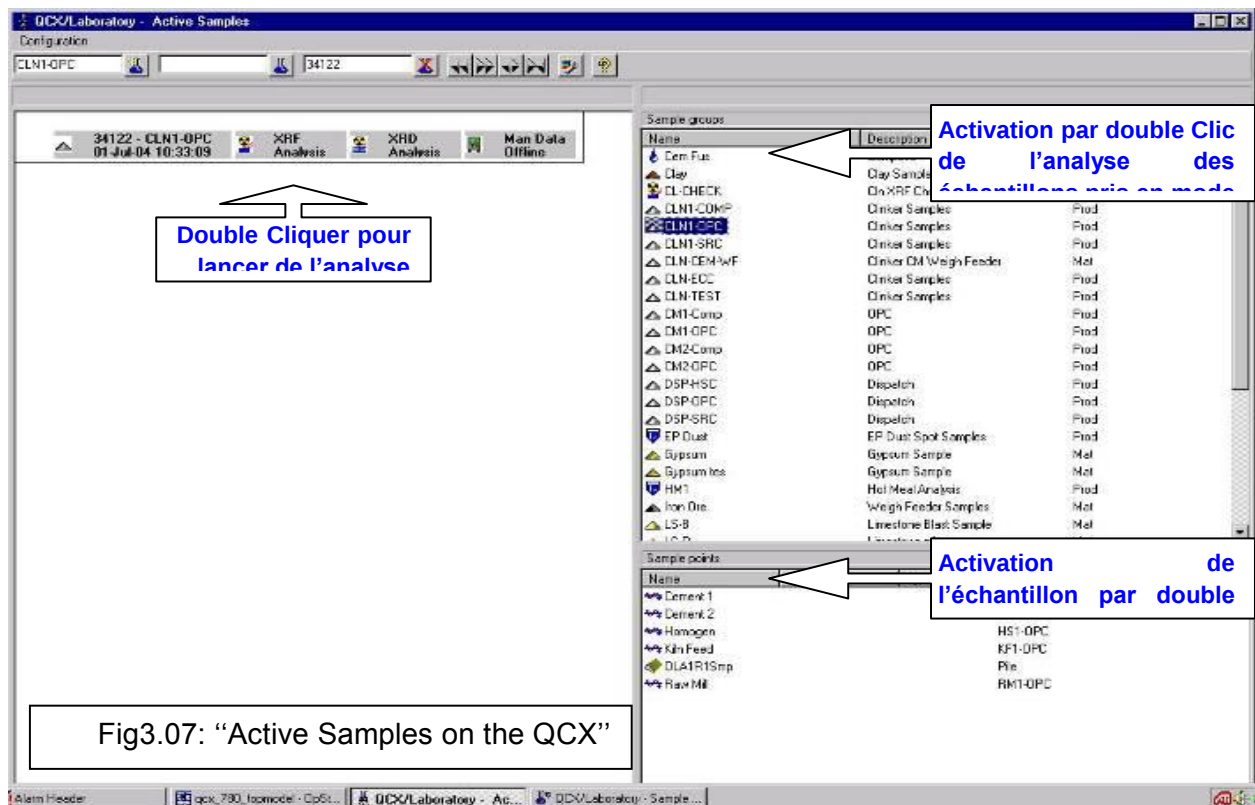


Tableau 3.1:Tableau donnant les tests et les analyses pour chaque échantillon de matière et leur fréquence

Type de matière	Test/Analyse et paragraphe du test	Fréquences des tests et analyse
Granulométrie concasseur Mélange	Résidu 60 et 100 mm § 11	01 fois par semaine
Granulométrie concasseur Gypse	Résidu 25 et 100 mm § 11	
Calcaire Chouf Amar, Debil&Goutaya Argile BirMadhi Gypse Belhacen& Biskra Sable Boussaâda Minerai de Fer Pouzzolane &Slag	Humidité § 12 PAF § 13.4 Chlorures § 13.11 Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque échantillon de tir
		Chaque échantillon de tir
		Chaque échantillon de tir
		Chaque arrivage/jour
		Chaque échantillon de tir
		Chaque arrivage/jour
		Chaque arrivage/jour
		Chaque arrivage/jour
		Chaque arrivage/jour
Composite des doseurs broyeurs Crus	Humidité § 12 Perte au Feu § 13.4 Analyse chimique sur pastille § 13	01 fois/Jour
		01 fois/Jour
		01 fois/Jour
Farine crue sortie broyeurs ou Homogène alimentation Silo	Humidité § 12	01 fois/Poste 2eme
	Refus § 13.5	Chaque heure
	PAF § 13.4	01 fois/Poste
	Chlorures § 13.11	01 fois/Poste
	Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque heure
	% CaCO ₃ , SO ₃ LECO § 13.10	01 fois/Poste

Farine Alimentation Four	Humidité § 12	01 fois/Poste
	Refus § 13.5	Chaque 04 heures
	PAF § 13.4	01 fois/Poste
	Chlorures § 13.11	01 fois/Poste
	Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque 02 heures
	% CaCO ₃ , SO ₃ LECO § 13.10	01 fois/Poste
Hot Meal	PAF § 13.4	Chaque 04 heures
	Chlorures § 13.11	Chaque 04 heures
	SO ₃ LECO § 13.10	Chaque 04 heures
EP Dust: Poussières Electro Filtre	PAF § 13.4	01 fois/Poste
	SO ₃ LECO § 13.12	
	Chlorures § 13.11	
	Analyse chimique sur pastille § 13	
Clinker Four	L.w.t: 'Poids au Litre' § 13.8	Chaque heure
	Chaux libre § 13.7	Chaque 4 heures
	Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque 4 heure
Clinker Four composite	Chaux libre § 13.7	01 fois/Jour
	Analyse chimique sur pastille § 13	
Clinker doseurs broyeurs Ciment	Analyse chimique sur pastille § 13	01 fois/Poste
	Humidité si Clinker Open Yard 12	01 à 02 fois/Poste
Gypse doseurs broyeurs Ciment	Humidité § 12	01 à 02 fois par poste
	Analyse chimique sur	01fois/poste et chaque 02

	pastille § 13	heures si SRC
	SO ₃ LECO § 13.10	01à 02 fois/Poste

Tableau3.2 :

Ajouts broyeurs Ciment	Humidité § 12	01 fois/Jour
	Analyse chimique sur pastille§ 13	01 fois/Poste
Ciment Sortie broyeurs Ciment	Refus 45 et 90 à m § 13.5	Chaque 02 heures
	SS Blaine § 13.6	Chaque 02 heures
	Humidité § 12	Chaque 02 heures
	PAF § 13.4	Chaque 02 heures
	Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque 04 heures
	Caractérisation aux Essais Physiques § 13.15 au § 13.19	Chaque jour
Ciment Sortie broyeurs Composite	Refus 45 et 90 à m § 13.5	Chaque jour
	SS Blaine § 13.6	
	PAF § 13.4	
	Analyse chimique sur pastille § 13	
	Caractérisation aux Essais Physiques § 13.15 au § 13.19	

Ciment Sortie Silos à l'expédition	Refus 45 et 90 à m § 12.6	Chaque Poste
	SS Blaine § 13.6	
	Humidité § 12	
	Analyse chimique sur pastille § 13	
Ciment Sortie Silos à l'expédition Composite	Refus 45 et 90 à m § 13.5	Chaque jour
	SS Blaine § 13.6	
	Humidité § 12	
	Analyse chimique sur pastille § 13	
	Caractérisation aux Essais Physiques § 13.15 au § 13.19	
Ciment pour contrôle de conformité	Analyse chimique sur pastille § 13	Echantillon Composite
	PAF § 13.4	
	Caractérisation aux Essais Physiques § 13.15 au § 13.19	
	SS Blaine § 13.6	
Ciment pour CETIM	Analyse chimique sur pastille § 13	Chaque Mois
	PAF § 13.4	
	Caractérisation aux Essais Physiques § 13.15 au § 13.19	
	SS Blaine § 13.6	
	Résidus Insolubles § 13.12	

3-12- Granulométrie des concasseurs:



fig3.07:Concasseurs

3-12-1-La granulométrie à la sortie du concasseur mélange est mesurée par les résidus sur tamis de 60 mm et 100 mm :

- Arrêter la bande en charge.
- Prélever toute la quantité sur un mètre de la bande, soit environ 200 à 300 kilogrammes.
- Peser cette quantité (P1).
- Tamiser toute la quantité sur un tamis de 60 mm et peser le refus du tamis (P2).
- Tamiser la quantité P2 'du tamis 60 mm un tamis' de 100 mm et peser le refus du tamis (P3).
- Calculer les refus suivant les relations:

$$\text{Refus}_{(60\text{mm})} = 100 \times \frac{P2}{P1}$$

$$\text{Refus}_{(100\text{mm})} = 100 \times \frac{P3}{P1}$$

- Envoyer le rapport des résultats au Procès 01, 02 et au Service Procès.

(Si le Refus sur tamis 60 mm > 5% ou sur tamis 100 mm > 0%. Le produit est non conforme et le Process1 traite la non-conformité).

3-12-2- CONCASSEUR GYPSE:

3-12-2-1 La granulométrie à la sortie du concasseur gypse est mesurée par les résidus sur tamis de 25 mm et 100 mm. Elle est mesurée pour le calcaire ‘Lime Stone’

- Arrêter la bande en charge.
- Prélever toute la quantité sur un mètre de la bande, soit environ 100 à 150 kg
- Peser cette quantité (P1).
- Tamiser toute la quantité sur un tamis de 25 mm et peser le refus du tamis (P2).
- Tamiser la quantité P2 ‘du tamis 25 mm un tamis’ de 100 mm et peser le refus du tamis (P3).
- Calculer les refus suivant les relations:

$$\text{Refus}_{(25\text{mm})} = 100 \times \frac{P2}{P1}$$

$$\text{Refus}_{(100\text{mm})} = 100 \times \frac{P3}{P1}$$

- Envoyer le rapport des résultats au Process 01, 02, 03 et au Service Process.

(Si le Refus sur tamis 25 mm > 5% ou sur tamis 100mm > 0 %: le produit est non-conforme. Le Process 01 traite la non-conformité).

12. Détermination de l’humidité.

NB:

a. Prendre environ 800 à 1500 grammes pour les matières premières et doseurs zone broyeur cru et ciment.

b. Prendre 10 à 15 grammes pour la farine crue et le Ciment.

- Prendre un plateau vide sec et propre, Tarer.
- Peser le plateau + Echantillon humide, soit P1 la masse.

-Faire sortir le plateau, peser le plateau+ l’échantillon séché, soit P2 la masse obtenue.

$$\% \text{H}_2\text{O} = 100 \times \frac{(P1 - P2)}{P1}$$

Tableau 3.3 : Le tableau : résume les températures et durées de séjour dans le sécheur ainsi que les quantités de matières pour chaque échantillon.

Matière	Température dans le sécheur (°C)	Quantités approximatives des matières (grammes)	Durée de séjour dans le sécheur
Calcaire	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Argile	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Sable	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Mélange	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Minerai de fer	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Farine crue	100-105°C	10-15	02 heures
Ciment	100-105°C	10-15	02 heures
Ajouts (Lime stone + Pouzzolane)	100-105°C	800-1500	Min 12 heures
Gypse	58-63°C	800-1500	Min 12 heures
Gypse Weigh feeder	58-63°C	800-1500	02 heures

3-13- Confection de la pastille pour l'analyseur XRF:

3-13-1- Broyage:

Voir tableau ci-dessous pour la préparation préliminaire des matières.

Choisir le programme approprié :

- Placer environ 5.0g de l'échantillon dans le broyeur et démarrer ce dernier pour 10 secondes de rinçage.
- Peser exactement la quantité de matière spécifiée et lui ajouter le nombre de pastilles de pré broyage

-Placer l'échantillon dans le broyeur à disque et fermer la porte du broyeur.

-Pousser le bouton vert (Bouton de démarrage) et attendre jusqu'à ce que l'opération de broyage soit finie.

-Prendre l'échantillon du broyeur sur une feuille de papier propre et sec pour préparer la pastille sur la presse hydraulique.

Le tableau 3.3: résume les conditions opératoires sur le broyeur à disque pour la préparation des pastilles.

Type de Matières	N°. du programme	Temps de broyage 'Secondes ,	Vitesse (tpm)	Nbre de pastilles	Pds de l'échantillon (g)	Remarques
Clinker	2	90	800	3	10	Pré concassé
Ciment	2	90	800	3	10	En l'état
Argile	2	90	800	3	10	Pré concassé
Minerai de Fer	2	90	800	3	10	Pré concassé
R Meal & K. Feed	6	120	800	3	10	En l'état
Calcaire	4	110	800	3	10	Pré concassé
Sable	5	195	800	4	7	En l'état
Gypse	3	30	800	3	10	Pré concassé
Clinker	2	90	800	3	10	Pré

						concassé
--	--	--	--	--	--	----------

3-13-2- Presse:

- Choisir le N° du programme.
- Prendre l'échantillon broyé sur une feuille de papier propre et sec.
- Placer l'anneau en acier en place dans la machine "Presse Hydraulique"
- Placer l'entonnoir sur l'anneau en acier.
- Verser avec précaution la matière dans l'anneau et uniformiser la surface de la matière.
- Déplacer lentement et avec précaution la table coulissante avec l'anneau rempli de matière jusqu'à le mettre en face du piston.
- Fermer la porte de la presse et presser sur le bouton vert (bouton de démarrage). Attendre jusqu'à ce que l'opération de pression soit terminée.
- Ouvrir la porte et prendre l'anneau avec précaution (Ne pas toucher la face supérieure de la pastille avec les doigts). Nettoyer la face inférieure avec l'aspirateur.
- Sur la face inférieure, porter à l'aide d'un crayon l'identification de l'échantillon, Le ramener à la salle des Rayons X pour analyse.

N B: Nettoyer la machine après chaque utilisation.

Le tableau 3.4 :résume les conditions opératoires sur la presse hydraulique pour la préparation des pastilles.

Type de matière	N° du Programme	Temps de rapprochement du piston (Secondes)	Temps de presse (S)	Pression (Tonne)
Clinker	02	10	30	20
Ciment	02	10	30	20
Gypse	02	10	30	20
Calcaire	02	10	30	20
Argile et Pouzzolane	02	10	30	20
Sable	01	10	30	15
Minerai de fer	02	10	30	20

3-13-3- Confection des perles pour l'analyseur XRF: La fusion consiste à mélanger un échantillon oxydé avec un fondant boraté. Chauffé à près de 1,832.00°F, le fondant se liquéfie et solubilise l'échantillon pour former une masse parfaitement homogène. Ce mélange fondu peut alors être versé dans un creuset pour former un disque de verre, il sera analysé par fluorescence aux rayons X. Les échantillons typiques sont le ciment, le verre, le laitier, la céramique, les minerais, les sédiments, les sols, les roches et les colorants.

3-13-3-1-Sélection des fondants: Les oxydes se dissolvent facilement dans les borates de lithium. Le méta borate de lithium (LiBO_2 , PF 850°C) réagit avec les oxydes acides, comme le SiO_2 . Le tétra borate de lithium ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, PF 920°C) réagit avec les oxydes basiques, comme le CaO .

Dans la pratique, la proportion de ces deux sels dans la composition des fondants est variable. Les recherches récentes de Claise ont démontré qu'en optant pour un fondant approprié, on obtient un meilleur disque de verre. Voici pour quoi:

- On évite la cristallisation.
- On réduit l'adhésion du verre au creuset.
- On réduit considérablement la fissuration du verre.

Lors de la préparation de disques de verre pour effectuer des analyses XRF, on ajoute des agents non mouillants (NWA) pour faciliter le retrait du disque de verre du moule en platine. Dans notre cas pour la fusion des échantillons on utilise le mélange LiT/LiM 67/33 de Claise avec agent non mouillant intégré.

LiT=tétraborate de lithium

LiM = métaborate de lithium Agent non mouillant = Iodure de potassium

3-13-3-2-Préparation: L'appareil est programmé avec 09 programmes, chacun concerne une sorte de matière différente mais tous présentent les mêmes étapes, mais avec des temps, vitesse de rotation et des débits de gaz différents.

- Préparer l'instrument, mettre 1,2 ou 3 creusets en platines contenant le mélange échantillons, mélange fondant et l'agent
- non mouillant. Placer les creusets en platine pour recevoir le mélange en fusion.
- Sélectionner les brûleurs qui vont être alimentés par le gaz, en allumant l'interrupteur approprié.
- Fermer la cabine de sécurité
- Choisir le programme avec la commande.
- Appuyer sur START, attendre 8 secondes puis allumer à l'aide d'un briquet le gaz.
- Laisser le programme prendre place. Le procédé de fusion se termine quand les ventilateurs de refroidissement s'arrêtent.
- Prendre les disques avec une ventouse.
- Couper le courant et fermer le gaz.



Commande de
programme

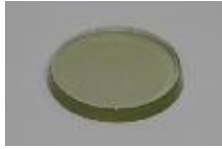


Fig3.08-Disque de verre ou Perle

Fig3.09-Perleuse ClaisseFluxy

3-13-4- Perte au feu:

- Peser exactement 1.0gr d'échantillon de matière P_1 préalablement séché à 110°C,
- Mettre l'échantillon dans un creuset en platine taré et propre puis dans le four à 1050°C pendant une 30 minutes.
- Retirer l'échantillon avec précaution du four, laisser refroidir dans un dessiccateur, pendant 10 min, Peser l'échantillon P_2 .
- Calculer la perte au feu 'PAF' comme suit:

$$PAF = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\%$$

- enregistrer les résultats d'analyse sur le registre destiné à cet effet. Voir L.R.T./P4/07 annexe 01..Et le communiquer au CCR sur le QCX.

N.B. Pour le gypse le procédé est différent au sujet de la température du chauffage, ici nous avons appliqué une température de 400°C. Après avoir déterminé l'humidité, nous déterminons ce que nous appelons eau cristallisation, avec les mêmes: calculs que pour la perte au feu.

3-13-5- Détermination du refus pour les matières fines : Pour la farine crue, Alimentation Four, Silo Homo le refus est déterminé sur tamis de 90 et 212 μm . - Pour le ciment le refus est déterminé sur des tamis de 45 et 90 μm .

3-13-5-1-Alpine en service:

- Vérifier le bon fonctionnement de l'alpine.
- Prélever $m = 10$ grammes de matière directement de l'échantillon bien homogène
- Tamiser sur tamis $90\mu\text{m}$ pendant 2 à 3 minutes,
- Peser m_2 et calculer le refus comme suit:

$$\text{Refus}_{90 \mu\text{m}} = \frac{m_1}{m} \times 100\%$$

- Tamiser, le résidu obtenu sur tamis $90 \mu\text{m}$ sur tamis $212 \mu\text{m}$ pendant 2 à 3 minutes,
- Peser m_2 et calculer le refus sur tamis $212 \mu\text{m}$ comme suit:

$$\text{Refus}_{212 \mu\text{m}} = \frac{m_2}{m} \times 100\%$$

- Enregistrer le résultat sur le registre destiné à cet effet. Saisir les résultats sur les données manuelles sur le QCX.

3-13-5-2- Alpine hors service:-Tamiser avec de l'eau du robinet, sécher et calculer les refus comme précédemment.

3-13-6- Détermination de la surface spécifique Blaine pour le ciment:



Fig3.10: Détermination du S.S Blaine

- Placer la grille au fond de la cellule et mettre un papier filtre de 12,7 mm.
 - Peser la quantité de ciment calculée lors de l'étalonnage du Blaine mètre, soit M.
 - Introduire cette quantité dans la cellule en utilisant un entonnoir propre et sec.
 - Tapoter tout doucement la cellule pour niveler la couche supérieure du ciment.
- Placer un autre papier filtre au dessus de la couche.
- Tasser avec précaution à l'aide du piston réservé à cet effet.
 - Vérifier le niveau d'huile qui doit être au trait (1) dans le tube.
 - A l'aide de la poire aspirante pomper et ouvrir le robinet, l'huile remonte à la graduation. (4).
 - Fermer le robinet, puis laisser le liquide descendre doucement.
 - Mesurer le temps de passage d'huile de trait 3 au trait 2.
 - Lire directement en fonction du temps, sur la tableau donnant SSB en fonction du temps, la valeur de la surface spécifique Blaine, ou appliquer la formule ci-dessous.

$$SS \text{ Blaine} = K\sqrt{Tm}.$$

-Tm: Temps moyen de passage de l'air à travers la couche de ciment.

-K: constante d'étalonnage de l'appareil.

3-14-DETERMINATION DE LA CHAUX LIBRE:

- Peser exactement 01 gramme d'échantillon 'Clinker finement broyé ou ciment dans un Erlen Meyer de 250ml, préalablement lavé et sécher.
- Ajouter 40 ml d'éthylène glycol et mettre la solution dans un bain marie Température entre 65 à 70°C.
- Mettre en service l'agitation automatique pendant 30 min.
- Placer un papier filtrer sur le Buchner et filtrer la solution de 70 mm de diamètre.
- Laver le précipité 3 fois avec au total 30 ml d'éthylène glycol chauffé (65 à 70°C).
- Ajouter au filtrat 05 gouttes de vert de Bromocrésol coloration bleu.
- Titrer avec une solution de HCl à 0,1 N jusqu'au virage du bleu au jaune verdâtre.
- Calculer la chaux libre selon la relation suivante:

$$\% \text{FCaO} = V_{\text{HCl}} \times F_{\text{act}}$$

3-14-1-Détermination du Facteur de la chaux libre:

- Calciner environ 01 gramme de CaCO_3 dans le four à 1050 degré, faire sortir et placer dans le dessiccateur pour refroidissement.

-Peser exactement dans un Erlen Meyer Propre et sec, 10, 15 et 20 mg de CaO, ainsi obtenu, lui ajouter 40 ml d'Ethylène Glycol et placer dans le bain marie à une température de 65 à 75°C. Démarrer l'agitation automatique pendant 30 minutes.

-Prendre chaque Erlen Meyer et titrer avec la solution d'HCl en présence de l'indicateur Vert de Bromocrésol jusqu'à obtention de la couleur verdâtre. Noter les volumes V1, V2, et V3 correspondants aux titrage de m1, m2, et m3 respectivement.

-Le Facteur de la chaux libre est obtenu comme suit:

$$\text{Fact} = \frac{V2 - V1}{m2 - m1} = \frac{V3 - V2}{m3 - m2} \text{ etc.}$$

-Le calcul du facteur de la chaux et de la chaux libre se fait selon l'équation:

$$\text{FCaO} = \text{Fact} * V.$$

Ou par lecture directe sur les tableaux canevas suivants:

Tableau3.6:

CaO (mg)	V(HCl: ml)	Factor
10	3.2	0.34
15	4.8	0.33
20	6.5	0.33

Tableau3.7 :

V(HCl)	FCaO
0.1	0.03
0.2	0.07
0.3	0.1
0.4	0.13

0.5	0.16
0.6	0.20
0.7	0.23

Ces tableaux sont affichés au niveau de la salle de travail du senior technicien..

3-15-DETERMINATION DU POIDS AU LITRE DU CLINKER FOUR:

- Collecter la fraction de clinker obtenue par tamisage de clinker sur des tamis de 10 mm et 05mm.
 - Tarer le récipient ‘de volume 01 litre’, le remplir avec du clinker, araser sans tasser, puis lire le poids.
- Lwt = Poids lu en gramme/litre.

3-16-CALCUL DE DEGRE DE CALCINATION:

Définition:

Le degré de calcination se fait par la relation suivante en se basant sur la perte au Feu du KilnFeed ou du RawMeal et la perte au Feu du Hot Meal.:

$$\text{Deg Cal} = 100 - \frac{(100)a}{(100)b}$$

Où:

a = la perte au feu du Hot Meal

b = la perte au feu du KilnFeed.

Ci joint un modèle du tableau (Tableau N°05) qui permet la lecture du degré de calcinations directement en fonction de la perte au feu du Hot Meal.

Le tableau N° 5 canevas pour le calcul du degré de calcination du Hot Meal. Ce tableau, mis à jour, est affiché chez le technicien senior.

Tableau 3.8:

Exemple: Perte au Feu du KilnFeed: $b = \text{PAF} = 36.50$

a = Perte au feu Hot Meal	Deg. Cal.	a = Perte au feu Hot Meal	Deg. Cal.
0,5	99,09	1,0	98,17
0,6	98,91	1,1	97,99
0,7	98,72	1,2	97,80
0,8	98,54	1,3	97,62
0,9	98,36	1,4	97,42

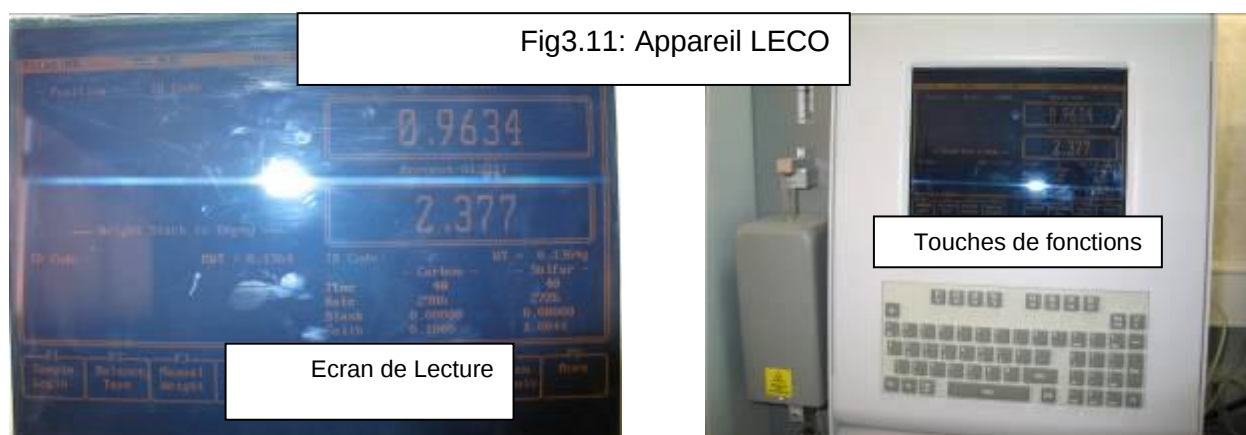
3-17-SULFATES SO_3 ET CARBONATES CaCO_3 SUR APPAREIL LECO:

Les sulfates SO_3 sur appareil LECO pour la farine crue, l'alimentation du four, le ciment, le calcaire, et le gypse se fait pour comparaison avec l'analyseur XRF.

Peser 0.1 à 0.2grammes d'échantillon dans un creuset LECO réservé a cet effet (pour le gypse peser 0.05 grammes de matières. Lui ajouter une cuillère (réservée à cet effet) de chaque accélérateur de fusion.

-Saisir la valeur de ce poids dans l'appareil, via le clavier numérique et appuyer sur la touche ENTER.

-Mettre le creuset sur le piston, puis appuyer sur la touche F5 (Abort analyse), le creuset se met en position dans la chambre de fusion.



NB: Si on veut une analyse manuelle appuyer sur F6 (Auto/Man) puis sur le piston.

Faite la lecture sur l'écran et inscrire le résultat.

3-18- Détermination des Chlorures :

3-18-1- Titrage volumétrique :

- Introduire 5 g d'échantillon dans un bécher de 250 ml, lui ajouter 50 ml d'eau distillée.
- Ajouter en versant lentement et tout en agitant avec un agitateur en verre 50 ml d'acide nitrique (1/2)
- Chauffer jusqu' au début d'ébullition en agitant la solution de temps à autre, laisser bouillir pendant 1 min. Ajouter exactement 5 ml d'une solution de nitrate
- d'argent (dissoudre 8,49g de nitrate d'argent dans de l'eau distillée et jauger à 1 litre)
- Faire bouillir pendant moins d'une minute puis filtrer sur papier filtre rapide préalablement lavé à l'acide nitrique (1/100)
- Rincer le Becher, le papier et l'agitateur avec la solution d'acide nitrique (1/100) jusqu' à ce que le filtrat de lavage soit de 200ml environ, Laisser refroidir le filtrat jusqu' à température inférieure à 25 C°.
- Ajouter 5 ml d'indicateur, [100 ml de solution saturée de $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ + 10 ml HNO_3 (1+2)].
- Titrer avec la solution de thiocyanate d'ammonium (dissoudre 3,8 g de NH_4SCN dans H_2O et jauger à 1000 ml) agiter vigoureusement la solution jusqu'à ce qu'une goutte de la solution de thiocyanate produise une légère coloration rouge brun, noter le volume V1. Si V1 est inférieur à 0.5ml, répéter la procédure avec la moitié de la masse d'échantillon. Procéder de la même façon en l'absence de l'échantillon de ciment et noter le volume V2 de thiocyanate d'ammonium utilisé pour l'essai à blanc.

$$\% \text{ Cl} = \frac{0,1 \cancel{772}}{m}$$

Où:

m: Masse de la prise d'essai

V1: volume écoulé de thiocyanate d'ammonium pour l'échantillon,

V2: le volume écoulé pour l'essai à blanc

3-18-2- Titrage Potentiométrique: Matières à analyser: Ciment, clinker, Argile, Calcaire, Gypse, etc.....

- Pesez exactement 2.5g de l'échantillon dans un Becher du 250 ml
- Ajouter 30ml d'eau distillée.
- placez le bêcher sur un Agitateur magnétique
- Ajoutez avec précaution 6ml d'acide Nitrique concentré.



Fig3.12: Potentiomètre

-Remplacez le b cher dans un bain à Ultrasons pendant 1 à 2 min.

Filtrez la solution à travers un papier filtre medium

Dans un Ballon jaugé de 100ml.

-Rincez avec de l'eau distillée et Remplir le ballon jusqu'à la marque et mélanger le contenu.

-Pipetez 50.0ml de la solution d'échantillon (Correspondant à 2.5g de l'échantillon original) dans un Becher de titrage.

-Ajoutez 20ml d'acide acétique glacial et 0.5 g d'Acétate de Sodium.

-Titrer avec une solution de nitrate d'argent de Concentration $C = 0.015$ en utilisant le mode DET du potentiomètre METROHM.

$$\% \text{ Cl} = \frac{EP1 \cdot C01 \cdot C02}{C00}$$

EP1 = Consommation du titrant en ml.

C00 = 2.5g.

C01 = 0.355 (Cl équivalent en mg/ml; 1ml c (AgNO_3) = 0.01 Mol/l correspondant à 0.355 mg Cl.

C02 = Molarité du titrant.

C03 = 0.1 (facteur de conversion pour %).

3-19-RESIDUS INSOLUBLES:

- Ajouter 90ml d'eau chaude à (1 ± 0.05) gr de ciment (W1), placé dans un bécher 250ml tout en remuant le mélange vigoureusement.
- Ajouter 10 ml d'acide concentré et chlorhydrique.
- Chauffer la solution doucement et écraser l'échantillon avec l'extrémité aplatie d'une tige d'agitation en verre jusqu'à ce que la décomposition du ciment soit complète. Permettre à la solution de digérer pour 15minutes à une température au dessous du point d'ébullition.
- Filtrer le résidu à l'aide d'un papier filtre moyen et laver abondamment avec de l'eau bouillante.
- Transférer le papier filtre et son contenu dans un nouveau au Bécher de réaction et ajouter 100ml du bicarbonate de sodium.
- Faites porter à ébullition et laisser bouillir pendant 15min.
- Filtrer sur un papier filtre médium et laver avec de l'eau bouillante, puis quatre fois avec de l'acide chlorhydrique chaud (1/19) jusqu'à $\text{pH} < 2$, et finalement au moins 10 fois avec l'eau bouillante jusqu'à ce que cette eau soit exempte de chlorures à l'aide de l'essai au nitrate d'argent.
- Mettre à feu ($975 \pm 25^\circ\text{C}$), puis vérifier que la masse obtenue est constante. Une période de 30min. est suffisante pour obtenir la masse constante (W2).

$$\text{R.I \%} = \frac{W2}{W1}$$

où:

W1: Masse de l'échantillon de ciment en grammes.

W2: Masse du résidu insoluble calciné en grammes.

3-20-Détermination de la Conductivité:

- Raccorder la cellule de mesure à l'appareil de mesure.
- Allumer l'appareil avec la touche 4.
- Calibrer ou contrôler le système de mesure (voir instruction de calibration)
- Immerger la cellule de mesure dans le milieu de mesure
- Sélectionner le mode de mesure avec la touche 1 apparaît la valeur de conductivité/salinité/TDS.
- Rincer et sécher l'électrode pour d'autres mesures.

Fig3.13: Touches du clavier

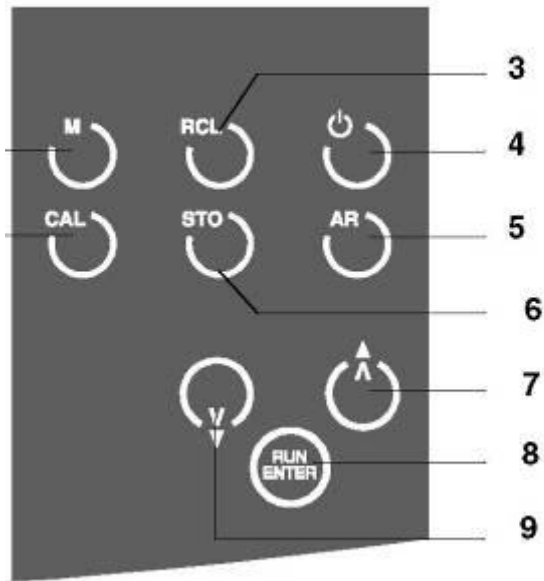
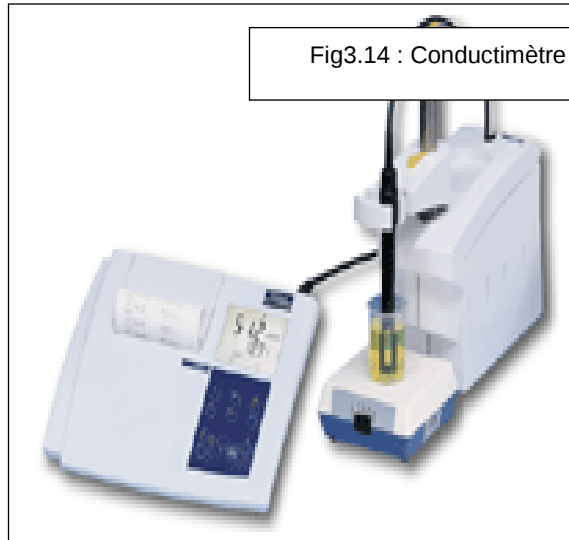


Fig3.14 : Conductimètre



Etalonnage du conductimètre: Avec le vieillissement la constante de la cellule subit de légères modifications par conséquent la valeur mesurée, affichée manque de précision .par la calibration, la valeur actuelle du constant est mesurée et enregistrée dans l'appareil de mesure.

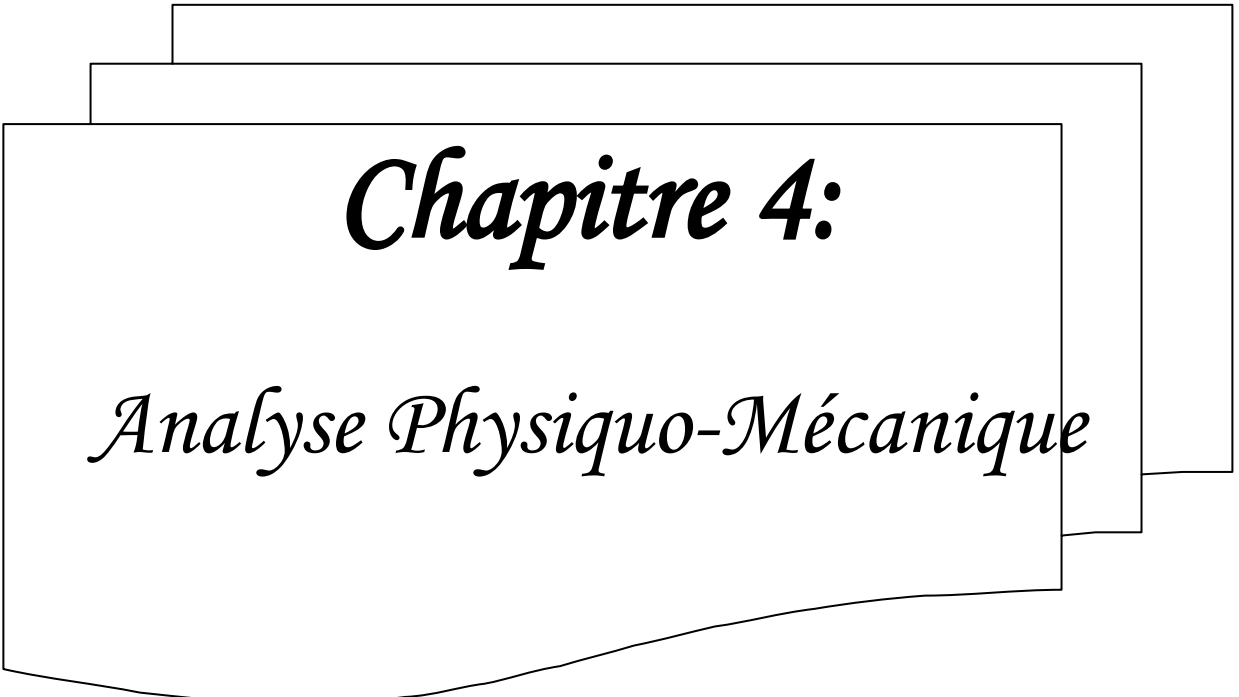
- Allumer l'appareil en poussant la touche 4
- Régler la température.
- Pour calibrer appuyer sur la touche 2 , jusqu'à ce que l'indication LF CELL apparaisse.
- Appuyer alors sur la touche 8.
- Appuyer sur la touche 2 et répéter la pression jusqu'à ce que l'indication suivante apparaisse CAL 0.475.
- Plonger l'électrode dans la solution standard de contrôle KCl 0.01 mol/l puis appuyer sur la touche 8.Le clignotant AR s'arrêtera sitôt le signal sera stable la constante de la cellule s'affichera alors.
- Enlever l'électrode de la solution tampon et la nettoyer par l'eau distillée.

3-21-Détermination du PH:

- Allumer l'appareil avec la touche 4.
 - Calibrer ou contrôler le système de mesure . Immerger la cellule de mesure dans le milieu de mesure.
 - Appuyer sur la touche 1 jusqu'a ce que pH apparaisse dans le champ d'indication d'état , la valeur de pH s'affiche à l'écran
 - Après la dernière mesure, rincer et sécher l'électrode puis la remettre dans son récipient de stockage
- etalonnage du ph-mètre :

- Allumer l'appareil en poussant la touche 4

- Régler la température
 - Pour calibrer appuyer sur la touche 2
 - Immerger l'électrode de mesure du PH dans la première solution tampon PH= 4
 - Appuyer sur la touche 8 l'indication AR clignote a l'écran, apparaît le potentiel de la chaîne de mesure en (mV) des qu'une valeur stable est reconnue AR s'éteint.
 - Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
 - Immerger l'électrode dans la deuxième solution tampon pH=7.
 - Appuyer sur la touche 8.
 - Rincer l'électrode avec l'eau distillée
 - Immerger l'électrode dans la troisième solution tampon pH=10, et appuyer sur la touche 8.
 - Pour retourner au mode de mesure pH appuyer de nouveau sur la touche 1.
- NB: Pour le pH-mètre l'appareillage est le même que celui de la conductivité, sauf pour l'action des touches.



Chapitre 4:

Analyse Physiquo-Mécanique

DOCUMENTATION DE REFERENCE

- norme EN 196-3.
- norme EN 196-3 .
- norme EN 196-3.

4-1-La 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.

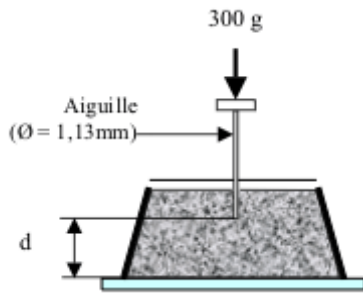


Fig. 4.1: Détermination du temps de début de prise

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.

Prise et durcissement des constituants du clinker:

-Pour mieux comprendre les propriétés des ciments portland, il est intéressant d'étudier comment réagit en présence d'eau chacun des constituants anhydres du ciment pris isolément.

Tableau 4.01: Le comportement et le dégagement de chaleur des constituants du clinker.

N ^o	CONSTITUANTS	COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS PURS	CHALEUR DEGAGEE
1	C ₃ S	▪ Fait prise et durcit rapidement. ▪ Haute résistance atteinte à <i>court terme</i>	120 cal / gr
2	C ₂ S	▪ Réagit lentement ▪ Haute résistance atteinte à <i>long terme</i>	62 cal / gr
3	C ₃ A	▪ Prise de façon très désordonnée et rapide ▪ Faible résistance (Pour régulariser la prise du C₃A, il faut ajouter du gypse)	207 cal / gr
4	C ₄ AF	▪ Faible résistance	100 cal / gr

4-2-MODE OPERATOIRE :

4-2-1-Malaxage de la pate de ciment :



Fig 4.02 : Malaxeur Normalisé

-Peser 500 g de ciment à 1 g près.

-Prendre un volume d'eau, par exemple 125 ml a l'aide de l'éprouvette, l'introduire dans la cuve du malaxeur. Voir Fig 14.

-Ajouter soigneusement le ciment à l'eau pour éviter toute perte d'eau ou de ciment. La durée de cette opération 5 temps 10 secondes. Noter la fin de cette opération comme le temps zéro.

-Mettre le malaxeur en marche immédiatement et le faire tourner a vitesse lente pendant 90 secondes.

- Au bout de ces 90 s, arrêter le malaxeur pendant 30 s pendant les quelles toute la pâte adhérant a la cuve au de la zone de malaxage doit être grattée et remise dans la gâchée.
- Remettre alors la machine en route a vitesse lente une nouvelle durée de 90 secondes. Le temps total de fonctionnement est de 3 minutes.

4-2-2-Remplissage du moule :

- Introduire immédiatement la pâte dans le moule, préalablement placé sur une plaque de verre plane, légèrement graissée et le remplir sans tassements ni vibrations excessif.
- Enlever l'excès de pâte par un mouvement de va et vient effectuée avec précaution, avec un outil présentant un bord droit de façon à avoir la face supérieure de la pâte lisse.

4-2-3-Essai de pénétration :

- Régler l'appareil de Vicat au préalable muni de la sonde. Placer le moule et la plaque de base sur l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat, abaisser la sonde avec précaution jusqu'au contact de la surface supérieure de la pâte, observer une pause de 1 à 2 secondes. (Dans le but de donner une vitesse initiale aux parties mobiles de l'appareil)
 - Libérer alors les parties mobiles de la sonde (la sonde doit pénétrer verticalement au centre de la pâte) La libération de la sonde doit avoir lieu 4 minutes après l'instant zéro.
 - Effectuer la lecture de l'échelle a la fin de pénétration ou 30 secondes après la libération.
- La lecture doit être acceptée si elle est de 6 à 2 mm du bord inférieur de la surface de la pâte.

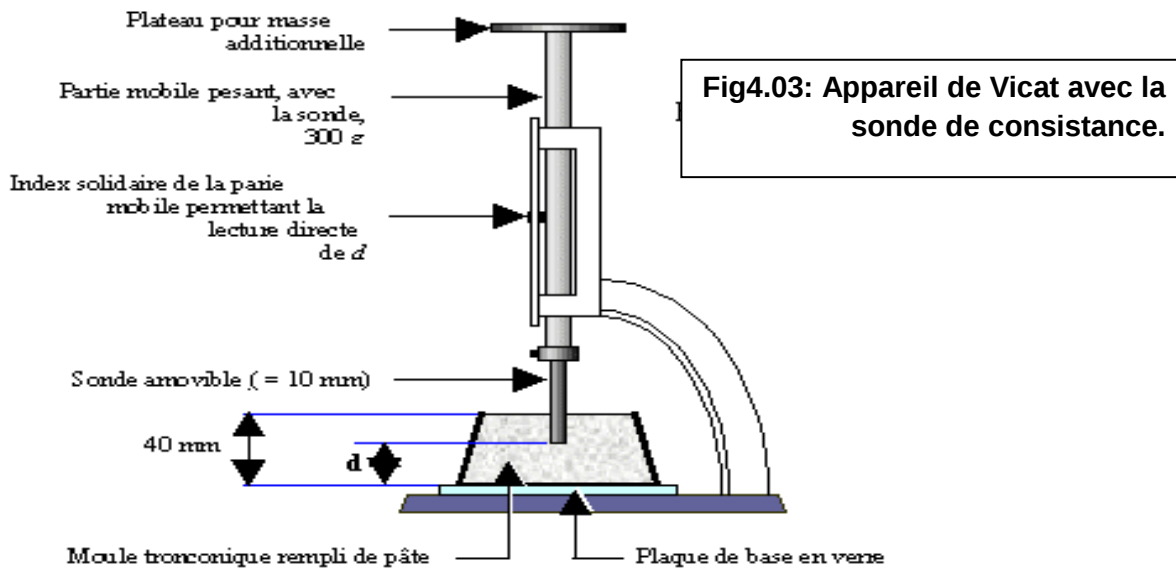
4-3-REPRENDRE LES ESSAIS AVEC D'AUTRES QUANTITES D'EAU, SI CES VALEURS NE SONT PAS REALISEES :

Calcul : Soit V (ml) le volume d'eau utilise pour obtenir la pâte de consistance normalisée (6 à 2 mm), le pourcentage d'eau est calculé par la formule suivante : $\% H_2O = 0,2 * V$

4-4-RECOMMANDATIONS :

Toute autre méthode de malaxage, a la machine ou manuelle, peut être utilisée pourvu qu'il puisse être prouvé qu'elle donne les mêmes résultats et que la méthode soit spécifiée.

Le salle dans laquelle les éprouvettes sont préparées et testées doit être maintenu a une température de $20 \pm 2^{\circ}C$ et une humidité relative d'au moins 50 %.



4-5-MESURE DU RETRAIT SUR EPROUVETTES DE MORTIER:

4-5-1-objectif de l'essai : Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

4-5-2-principe de l'essai : On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16$ cm, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

4-6-EQUIPEMENTS NECESSAIRES :

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

- Eventuellement un bain d'eau dont la température est maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et.

Un malaxeur normalisé.

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

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

4-7-CONDUITE DE L'ESSAI :

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

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

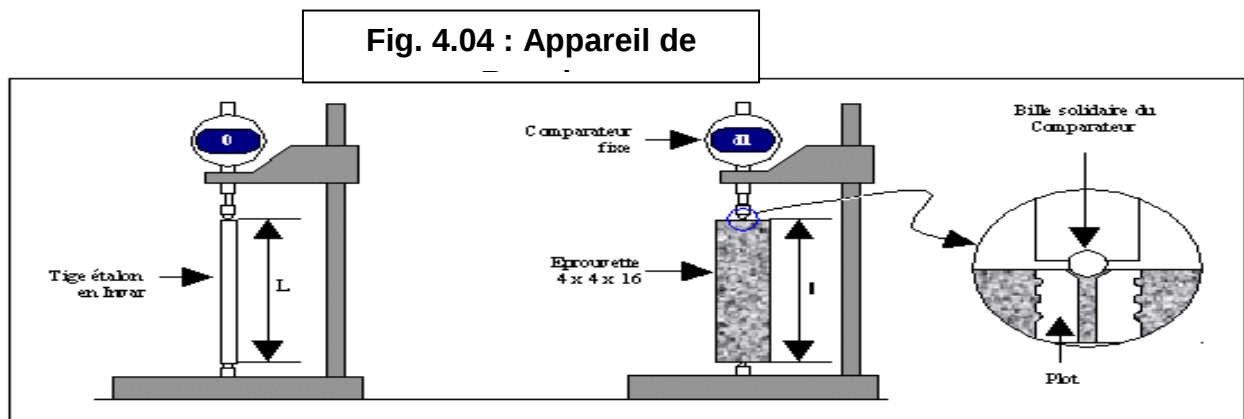
Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

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

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression:

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

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule.



Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, $\Delta l(t)$ peut être positif: il y a alors gonflement.

4-8-ESSAI DE PRISE :

4-8-1APPAREILLAGE : une armoire humide maintenue à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et à au moins 90% d'humidité relative. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

4-8-2-réactifs :

- L'eau distillée ou des ionisée, peut être utilisée pour la confection de la pâte de ciment.
- Les éprouvettes doivent être bouillies et conservées.
- Le ciment, l'eau et l'appareillage utilisé pour confectionner et essayer les éprouvettes doivent être à la température de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ qui est elle même celle de la salle.

4-8-3-mode opératoire :

4-8-3-1-préparation de la pâte pour essai de prise: voir l'instruction de travail relative à la consistance normale § 12.15.

4-8-3-2-REMPLISSAGE DU MOULE :Une fois la consistance de la pâte déterminée, noter le volume et procéder comme suit :

-Introduire immédiatement la pâte dans le moule, préalablement placé sur une plaque de verre plane, légèrement graissée et le remplir sans tassements ni vibrations excessifs.

-Enlever l'excès de pâte par un mouvement de va et vient effectuée avec précaution, avec un outil présentant un bord droit de façon à avoir la face supérieure de la pâte lisse.

4-9-ESSAI DE PENETRATION :

-Régler l'appareil de Vicat au préalable muni au préalable de l'aiguille.

-Placer le moule et la plaque de base sur l'axe de la sonde de l'appareil de Vicat, abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'au contact de la surface supérieure de la pâte, observer une pause de 1 à 2 secondes. (Dans le but de donner une vitesse initiale aux parties mobiles de l'appareil)

-Libérer alors les parties mobiles de l'appareil (l'aiguille doit pénétrer verticalement au centre de la pâte).

-Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de pénétration ou 30 secondes après la libération des parties mobiles.

-Enregistrer la lecture de l'échelle, qui indique la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la base du moule porte sur sa plaque de verre.

-Le temps de début de prise correspond donc à la lecture de 6 à 3mm de la base.

-Reprendre la lecture toutes les quinze minutes (15 min, qui peut être augmentée à 30 min) pour la détermination du temps de la fin de prise, essais avec d'autres quantités d'eau, si cette valeur n'est pas réalisée.

-Enregistrer à 15 minutes près, le temps mesure depuis l'instant zéro.

-Le temps de fin de prise correspond à celui au bout duquel l'aiguille ne pénètre plus pour la première fois qu'à 0,5 mm dans l'éprouvette.

Calcul :

-Le temps de début prise correspond à la lecture de 6 à 3mm notée à partir du temps zéro.

-Le temps de fin de prise correspond à la lecture de 0,5mm notée à partir du temps zéro.

4-10-DÉTERMINATION DE LA STABILITÉ :

4-10-1-définitions:

- La stabilité du ciment est exprimée par son aptitude à développer une expansion en volume lors de sa mise en œuvre.
- L'expansion provient essentiellement et est reliée a la présence de la chaux libre (FCaO) dans le ciment ou la péril ase (MgO) cristallisée.

4-10-2-ÉQUIPEMENT NECESSAIRE :

- Un malaxeur normalisé.
- Deux moule en laiton élastique, appelés 'Appareil Le Chamelier'. Ces moules sont fendus de façon à pouvoir s'ouvrir en cas d'augmentation de volume de la pâte.
- Un bain d'eau muni d'un moyen de chauffage, dans lequel il est possible d'immerger les éprouvettes et de porter la température de l'eau de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à ébullition en $30 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$.
- une armoire humide maintenue à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et à au moins 90% d'humidité relative.
- Balance de précision.
- Cylindre ou burette graduée a 1 % près 1,0 g.

4-10-3-réactifs :

4-10-4-mode opératoire :- La pâte une fois normalisée, elle servira au remplissage des moules Le Chamelier.

4-11-REEMPLISSAGE DU MOULE :

- Travailler sur un nombre de deux moules au moins.
- Introduire immédiatement, a l'aide d'un objet adéquat, la pâte de ciment dans le moule Le Chatelier, préalablement placé sur une plaque de verre plane, légèrement graissée et le remplir sans tassements ni vibrations excessif.
- Enlever l'excès de pâte par un mouvement de va et vient effectuée avec précaution, avec un outil présentant un bord droit de façon à avoir la face supérieure de la pâte lisse.
- Mesurer les écarts entre les deux branches du moule
- Etiqueter le moule et le couvrir d'une plaque de verre légèrement huilée et si nécessaire, munie de poids supplémentaire et placer alors immédiatement l'appareil complet dans la chambre (armoire) humide pendant $24 \pm 0,5 \text{ h}$ a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ et une humidité d'au Moins 90 %.

- Mesurer les écarts entre les deux branches du moule Le Chatelier avant leur introduction dans la bouilloire. Comparer les valeurs, (Elle permet de se donner une idée du comportement de la pâte).
- Placer les moules dans une bouilloire pendant $03h \pm 5min$.

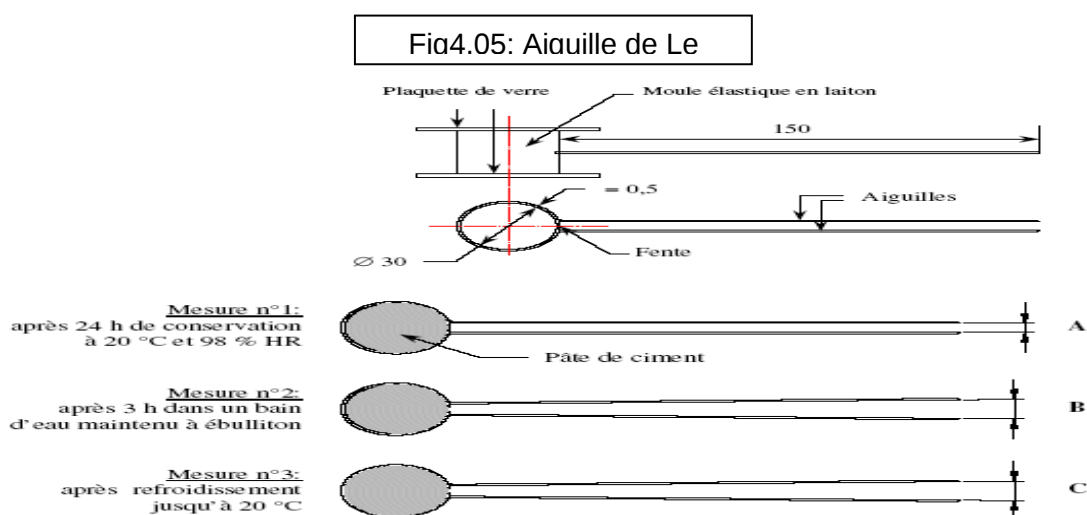
Calcul :

- Laisser refroidir a la température de la salle $20 \pm 2^{\circ}C$.
- Pour chaque moule, mesurer la différence entre les écarts, avant et après le traitement des moules dans l'eau bouillante
- L'expansion est définie comme suit, soit:
 L_1 :la l'écart avant la cure dans l'eau bouillante.
 L_2 :la l'écart après la cure dans l'eau bouillante.
- L'expansion est donc égale à la différence.

$$Exp = L_2 - L_1 \text{ en (mm)}$$

4-12-RECOMMANDATIONS :

Le laboratoire dans lequel les éprouvettes sont préparées et essayées doit être maintenu a une température de $20 \pm 2^{\circ}C$ et une humidité relative d'au moins 50 %.



4-13-MESURE DES RESISTANCES A LA COMPRESSION ET A LA REACTION :

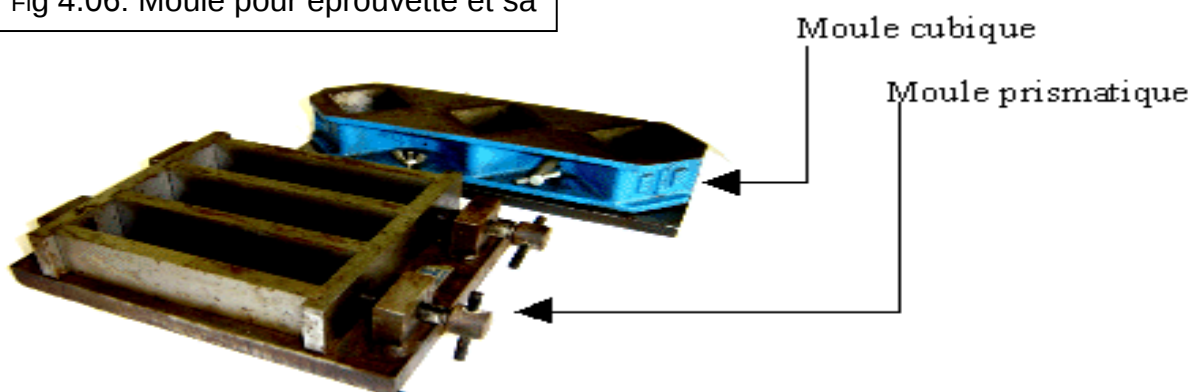
4-13-1-OBJECTIF DE L'ESSAI : La résistance d'un mortier est directement dépendante du type de ciment donc, il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment plutôt que d'un mortier.

4-13-2-principe de l'essai : L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature deliant hydraulique; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

4-13-3-appareillage : Il est énuméré ci-dessous :

- Une salle maintenue à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %. Armoire humide maintenue à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative supérieure à 90 %.
- Un malaxeur normalisé et table à choc
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ et de longueur 16cm (elles sont appelés 'Eprouvettes $4 \times 4 \times 16\text{ cm}$ ').

Fig 4.06: Moule pour éprouvette et sa



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

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

Fig 4.07: Table à choc et



Réactifs :

- L'eau distillée ou des ionisée, peut être utilisée pour la confection de la pâte de ciment.
- Les éprouvettes doivent être nettoyées et bien conservées.
- Le ciment, l'eau et l'appareillage utilisé à pour confectionner et essayer les éprouvettes doivent être a la température de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ qui est elle même celle de la salle.

4-14-MODE OPERATOIRE :

4-14-1-PREPARATION DU MORTIER:La composition du mortier à tester est le suivant:

- Sable normalisé = 1350 ± 5 grammes.
- Ciment = 450 ± 2 grammes.
- eau de gâchage = 225 ± 1 g (le rapport de E/C est donc 0,50).
- Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment soigneusement.
- Mettre alors le malaxeur en marche à petite vitesse.
- Après 30 secondes, introduire le sable régulièrement pendant les 30 secondes qui suivent, et continuer à malaxer pendant 30 autres secondes.
- Arrêter le malaxeur pendant 1min30 S pendant les 15 premières secondes, enlever à l'aide d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond vers le milieu de celui ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 1 minute.

4-14-1Opérations pour déterminer le mortier normal : Voir ci-dessous

Tableau 4.02:

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

4-14-2-préparation des éprouvettes :

- Le moule et sa hausse fermement fixés à la table à choc.
- Remplir avec précaution à l'aide d'une cuillère convenable, le moule à moitié et dans chaque compartiment de celui ci.
- Etaler la couche uniformément en utilisant une spatule adéquate. (La tenir verticalement et avec des mouvements de va et vient)
- Démarrer ensuite l'appareil à choc pour 60 coups.
- Introduire la seconde couche, niveler avec la spatule et démarrer l'appareil pour 60 autres coups.

- Retirer avec précaution le moule de la table et ôter la hausse, enlever immédiatement l'excès de mortier avec une règle métallique plate, anime de lents mouvements.
- Lisser la surface des éprouvettes en tenant la règle presque à plat.
- Etiqueter les moules pour identification.
- Placer sans tarder les moules dans une armoire humide à régulation de température, pendant 24 h.
- Après 24 heures de cure ainsi faire sortir les moules et procéder au démoulage des éprouvettes.
- Immerger sans tarder les éprouvettes dans un bain d'eau a régulation de température ($20 \pm 1^\circ\text{C}$).

4-14-3-âges des éprouvettes :

- Compter l'âge à partir du moment de malaxage du ciment, eau et sable jusqu'au début de l'essai.
- Effectuer les essais de résistances à différents ages, après 02, 07 et 28 jours. Voir figure .

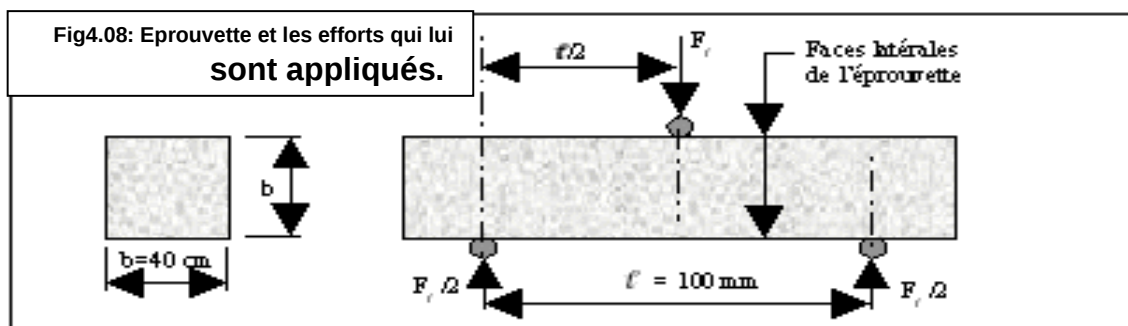
Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4.03:

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

4-15-RESISTANCE A LA FLEXION :

- Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui.
- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture. Conserver les deux demis prismes.



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

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

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

- Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en mégapascals (MPa) vaut :

$$R_f (MPa) = 0,234 F_f (N).$$

4-16-RESISTANCE A LA COMPRESSION :

- Placer le demi-prisme en compression sur les faces latérales de moulage.
- Centrer chaque demi-prisme dans le compartiment d'essai.
- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture.

$$\sigma = F/S$$

F: charge appliqué en KN.

S: surface du demi-prisme cm^2 .

σ : Contrainte appliqué MPa.

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

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

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

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

4-17-RESISTANCE NORMALE :

La résistance dite résistance normale pour un ciment donné est la résistance ainsi mesurée à l'âge de 28 jours. C'est cette résistance qui définit la classe du ciment : si un ciment a, (à 28 jours), une résistance normale de 52.5 MPa, on dira que sa classe vraie est de 52.5 MPa.

Fig4.09: Efforts appliqués sur une éprouvette pour le Flexion et la



Fig4.10.: Machine de compression

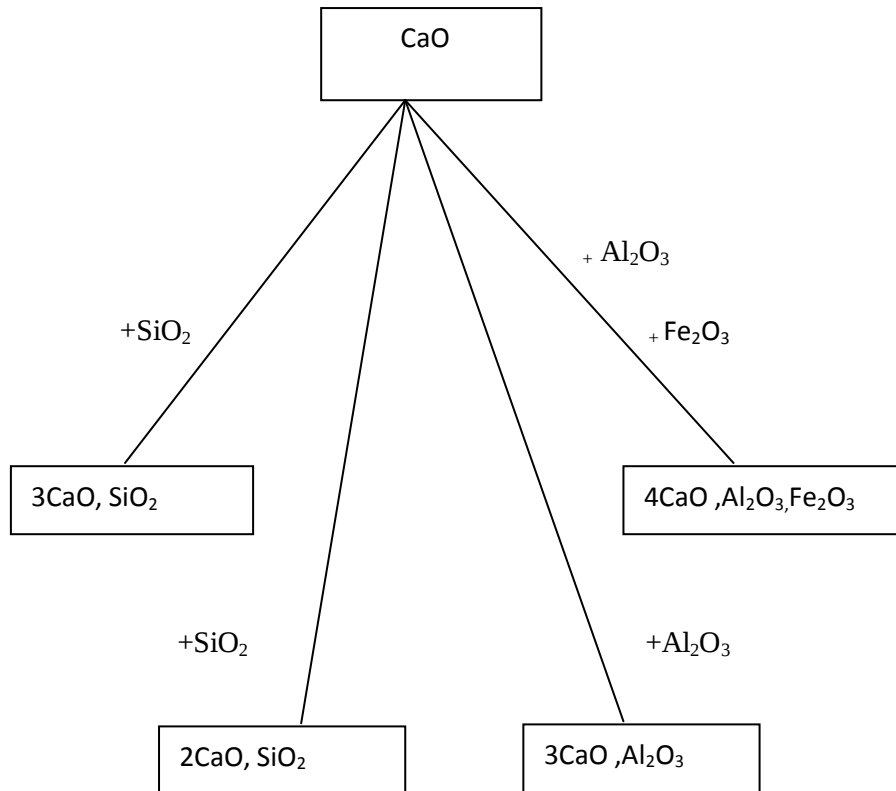


Remarque :

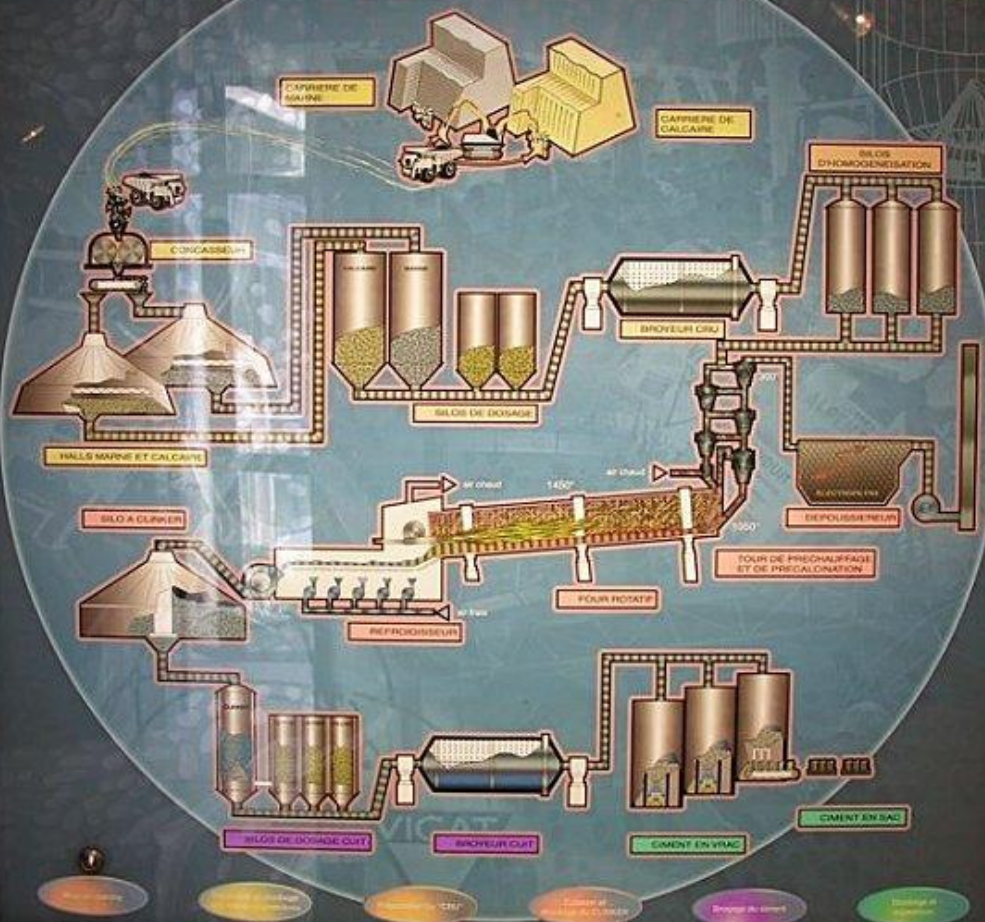
1. Tous les résultats des tests physico mécaniques sont enregistrés sur des registres référencés.
2. Les testes optionnels d'essais mécaniques à 07 jours, s'effectue selon l'instruction référence :INST01/P4, partie essais mécaniques, ils s'effectuent a la demande du directeur département qualité.

INDEXE

Les réactions du CaO : (6)



LA FABRICATION DU CIMENT



LES PHOTOS DE L'USINE









Les références

1-Norme NA 442

2-Norme NA 443

3-Norme EN 196-1

4-Norme EN 196-2

5-Norme EN 196-3

6-المراجع العربية: مواد البناء واختبارها ; الدكتور محمد راتب سطات ،الدكتور أندراوس سعود ; ديوان المطبوعات الجامعية الساحة المركزية بن عكنون الجزائر

7-Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier ; Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister ; M'sila 2007/2008.

8- dosage des carbonates de calcium et de magnésium dans le cru ; Méftah Hamid ; Mémoire de fin d'études (DEUA) ; Boumerdes 1995/1996.

9-الموقع الالكتروني:

9-http: //fr .Wikipedia. Org/wiki/ciment.