



ETUDE COMPARATIVE DES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES CIMENTS UTILISES AU BURKINA FASO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 28 octobre 2015 par

Houljakbé Houlteurbe DAGOU

Travaux dirigés par :

Dr. Adamah MESSAN
responsable du LEMC

M. Agbévidé K. KOKOLE
Chef des travaux Génie Civil – LEMC

M. Edem Y. BAITE
Doctorant/2iE

M. Arnaud OUEDRAOGO
Assistant d'enseignement

Laboratoire Eco-Matériaux de Construction/2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Adamah MESSAN**

Membres et correcteurs : **M. Agbévidé K. KOKOLE**
M. Hema CESAIRE
Mme Traore YASMINE

Promotion [2014/2015]

CITATION

« Beaucoup des gens ont du talent, mais seul le travail permet de faire carrière »

Alice Parizeau

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire de fin d'étude de master présenté à travers ce document a été réalisé à 2IE, au sein du Laboratoire Eco – Matériaux de Construction. De nombreuses personnes ont concouru à son achèvement et je tiens à les en remercier ici.

Je remercie **Dr. Adamah MESSAN**, responsable du LEMC, **M. Agbévidé K. KOKOLE** Chef des travaux Génie Civil – LEMC, pour la proposition du thème de stage, ainsi que pour vos conseils, disponibilités et remarques qui ont contribué à l'élaboration de ce document. Je remercie **M. Edem Y. BAITE**, Ingénieur Génie Civil, ainsi que **M. Arnaud OUEDRAOGO**, Ingénieur Génie Civil d'avoir accepté de suivre et d'orienter mes travaux. Je remercie également **Mme Yasmine B. TRAORE**, Ingénieur Génie civil, **Mme Nafissatou SAWADOGO**, Ingénieur Génie Civil, **M. Omar S. SORE**, Ingénieur Génie Civil, ainsi que **M. Salifou KABORE**, pour vos instructions tout le long de mon stage.

Je souhaite remercier chaleureusement mes collègues de stage : **COULIBALY Maimouna**, **RAMADJI Christian**, **Tojoso Johanesa RASOLOFONIRINA** et **TUYISHIME Honoré**, pour votre soutien et votre aide lors des différentes expérimentations, mais aussi pour votre bonne humeur que savez partager généreusement.

Pour finir, que toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document reçoivent mes sincères remerciements.

RESUME

Le présent travail porte sur l'étude comparative des caractéristiques mécaniques des ciments utilisés au Burkina Faso. La croissance socio-économique et la politique ouest africaine de libre circulation de biens et services ont favorisé la livraison d'importante quantité de ciments au Burkina Faso en 2014. Ces ciments proviennent de différentes usines, donc avec des caractéristiques diverses et non connues des usagers.

Dans ce rapport, nous avons effectué plusieurs essais sur les différents types de ciments recensés aux Burkina Faso. Ces essais ont été effectués sur le béton et mortier à l'état frais et à l'état durci. Les essais à l'état frais nous ont permis de déterminer les propriétés essentielles des mortiers et bétons telles que : l'affaissement qui caractérise le comportement rhéologique des bétons et mortiers, la densité fraîche et le temps de prise sur mortier. Nous obtenons des temps de prise remarquable notamment de 1h 15 min sur CIMFASO et de 1h 40 sur CIMBURKINA. A l'état durci, nous avons obtenus les caractéristiques telles : la porosité (mortier), la densité (béton), la résistance en flexion (mortier) et les résistances en compression (béton et mortiers). Les essais sur les mortiers et bétons à l'état durci ont été effectués à 7 ; 14 ; 28 et 90 jours d'âge de maturation. A 90 jours, les résistances à la compression sur les éprouvettes de béton varient de 24 MPa (CIMAF) à 34,8 MPa (CIMFASO).

Au terme de l'étude comparative, nous concluons que CIMFASO, CIMTOGO et CIMBURKINA peuvent être utilisés en structure.

[Mots clés]

1 – Ciment 2 – Compression 3 – Prise 4 – Rhéologie 5 – Viscosité

ABSTRACT

This work consists in a comparative study of the mechanical properties of cements used in Burkina Faso. The socio-economic growth and West African policy, about free traffic of goods and services, have increased the cement delivery in Burkina Faso in 2014. These cements come from different factories, therefore they have various features unknown by users.

In this report, we have done several tests on various types of cement listed in Burkina Faso. These tests were performed on concrete and mortar in a fresh and cured state. Test on fresh state allowed the determination of the essential properties of mortar and concrete, such as the slump – that characterizes the rheological behavior of concrete and mortar -, the fresh density and the curing time of mortar. Thus for the curing period, we obtained 1h15min on CIMFASO and 1h40min on CIMBURKINA. In a hardened state, we found characteristics as: porosity (mortar), density (concrete), flexural strength (mortar) and compressive strength (concrete and mortars). Tests on mortars and concretes in the cured state have been performed at 7; 14; 28 and 90 days of curing age. At the age of 90 days, the compressive strength of the concrete ranged from 24 MPa (CIMAF) to 34.8 MPa (CIMFASO).

After the comparative study, we conclude that CIMFASO, CIMTOGO and CIMBURKINA can be used in structures.

[Key words]

1 – Cement 2 – Compression 3 – Curing 4 – Rheology 5 – Viscosity

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

A/C : rapport Adjuvant sur Ciment

Aff : Affaissement

C : compression

Cc : Coefficient de courbure

CPA : Ciment Portland Artificiel

CEM : Ciment Portland Composé

CPJ : Ciment Portland Composé

Cu : Coefficient d'uniformité

E/C : rapport Eau sur Ciment

ESp : Equivalent de Sable au piston

ESv : Equivalent de Sable à vue

F : flexion

Fc28 : résistance caractéristique du béton à 28 jours

FCE : classe vraie de ciment

G : coefficient granulaire

LA : coefficient Los Angeles

LEMC : Laboratoire Eco-Matériaux de Construction

MPa : Méga pascal

SOMMAIRE

<i>Citation</i>	<i>i</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ii</i>
<i>Résumé</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iv</i>
<i>Liste Des Abréviations</i>	<i>v</i>
<i>Liste Des Tableaux</i>	<i>7</i>
<i>Liste Des Figures</i>	<i>8</i>
<i>Introduction Générale</i>	<i>9</i>
<i>Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique</i>	<i>11</i>
II.1 LE CIMENT	<i>11</i>
II.2 BETON ET MORTIER.....	<i>18</i>
II.3 LA RHEOLOGIE DES MATERIAUX CIMENTAIRES : BETON ET MORTIER	<i>22</i>
<i>Chapitre 2 : Matériels Et Méthodes</i>	<i>24</i>
III.1 CARACTERISATION DES MATERIAUX.....	<i>24</i>
III.2 DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX.....	<i>29</i>
<i>Chapitre 3 : Résultats Et Discussions</i>	<i>39</i>
IV.1 BETONS ET MORTIERS A L'ETAT FRAIS.....	<i>39</i>
IV.2 BETONS ET MORTIERS A L'ETAT DURCIS	<i>42</i>
IV.3 ETUDE COMPARATIVE ET CANEVAS D'ELABORATION DE LA FICHE TECHNIQUE	<i>46</i>
<i>Conclusion Générale</i>	<i>50</i>
<i>Bibliographie</i>	<i>51</i>
<i>Annexes</i>	<i>52</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : les différents types de ciments (Jean FESTA, 1998).....	16
Tableau 2: Eléments caractéristiques du sable et gravier.....	25
Tableau 3 : Coefficient de courbure des différentes courbes granulométriques des ciments étudiés.....	25
Tableau 4: Caractéristiques du sable de Manga.....	26
Tableau 5: Surface spécifique BET des ciments étudiés.....	26
Tableau 6: Coefficient Los Angeles suivant les différentes classes granulaires.....	27
Tableau 7: Densités apparentes sable, gravier et ciments.....	28
Tableau 8: Densité spécifique sable, gravier et ciments.....	29
Tableau 9: Dosage du mètre cube de béton et quantité des constituants.....	30
Tableau 10: Dosage du mètre cube de mortier.....	31
Tableau 11: composition du coulis de ciment.....	31
Tableau 12: comparaison des résistances (en compression mesurées sur mortier normalisé) à différentes échéances d'une chaux hydraulique de qualité et deux ciments Portland (Granju, Octobre 2011).....	48
Tableau 13: Résistances des différents types de ciments.....	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma du principe de fabrication de ciment(Fiche technique Holcim).....	15
Figure 2:série de tamis utilisés pour l'analyse granulométrique	24
Figure 3: Agitateur d'équivalent de sable et tube à essai.....	26
Figure 4: Machine Los Angeles et boules d'essai.....	27
Figure 5: Cône normalisé pour mesure de densité apparente.....	28
Figure 6: Pycnomètre à air	29
Figure 7: Pourcentage des granulats entrant dans la composition du béton.....	30
Figure 8: Cône de Marsh (Hallal .A, 2011).....	32
Figure 9: Vue générale de l'appareillage	32
Figure 10: Appareil de Vicat	33
Figure 11: Malaxeur électrique et appareil à choc surmonté du moule 4*4*16	34
Figure 12: Cône d'Abrams et mesure de l'affaissement	34
Figure 13: Moule 16*32 et bassin de maturation	35
Figure 14: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (R. Dupain, 1995).....	36
Figure 15: Dispositif de rupture en compression (R. Dupain, 1995)	37
Figure 16: Presse à béton capacité 2000KN.....	38
Figure 17: Temps d'écoulement des différents types de ciments étudiés.....	39
Figure 18: Affaissement sur les mortiers de ciments	40
Figure 19:Temps de prise en fonction des types de ciments	40
Figure 20: Mesure des densités des bétons frais	41
Figure 21:Mesures des affaissements sur les bétons frais	42
Figure 22: Evolution de la porosité en fonction de l'âge de maturation.....	43
Figure 23:Résistance en compression entre 0 et 90 jours	44
Figure 24:Résistance en compression entre 0 et 90 jours	44
Figure 25: Evolution de la masse volumique des bétons à l'état durcis	45
Figure 26: Evolution de la résistance en compression sur les éprouvettes de béton.....	46

INTRODUCTION GENERALE

Le ciment est une poudre minérale, principale composante du béton, auquel il confère un certain nombre de propriétés, et notamment sa résistance. C'est un matériau de construction de haute qualité, économique, utilisé dans les projets de construction du monde entier. Différentes catégories de ciment sont fabriquées et commercialisées, selon la composition chimique des matières premières, et les ajouts éventuels de constituants complémentaires au moment du broyage et la finesse du produit.

La croissance socio – économique et la politique sous régionale ouest africaine de la libre circulation de biens et services ont favorisé la croissance industrielle et le développement du commerce. Dans une rude concurrence, ces unités véhiculent sur le marché des produits de diverses qualités et souvent méconnues des usagers.

Force est de constater qu'en 2014, au Burkina Faso, la livraison de matériaux de construction en l'occurrence le ciment s'est accrue. Cette croissance est due à la naissance des industries cimentaires et à l'importation des ciments sur le territoire burkinabé. Ainsi pour exécuter un quelconque travail de construction, les usagers sont dans l'embarras du choix ne permettant pas la détermination adéquate du type de ciment à utiliser dans les ouvrages en béton armé ou non. Face à cette dynamique, les laboratoires de génie civil ne doivent pas rester cois. C'est dans ce cadre que le Laboratoire Eco – Matériaux de Construction (LEMC) de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) a voulu, à travers ce thème, contribuer à la mise en place des fiches techniques des principaux ciments utilisés au Burkina Faso, en vue d'un choix judicieux et d'un usage adéquat.

Le principal objectif de ce projet est de déterminer les caractéristiques mécaniques des différents types de ciment utilisés au Burkina Faso. Ces caractéristiques nous donneront l'occasion de contrôler les prescriptions des différents producteurs. Ils nous permettront également de classer suivant les résistances, les types de ciments utilisés quotidiennement au Burkina Faso.

De façon spécifique, ce projet contribuera à la mise en place des fiches de prescriptions techniques des différents ciments étudiés. Les fiches de prescriptions guideront d'une part les usagers dans le choix des types de ciments pour les éventuelles constructions et d'autres parts ils permettront aux usines de maintenir ou de corriger la qualité des prochaines productions de ciments.

Pour aboutir à l'élaboration de ces fiches techniques, nous aborderons le sujet sous plusieurs axes, qui sont entre autres :

- la synthèse bibliographique : dans cette partie, nous traiterons des généralités sur le ciment, du principe et des méthodes de fabrication de ciment, ainsi que des différents types de ciment. Les types de ciments couramment rencontrés au Burkina Faso seront aussi recensés, ainsi que les propriétés générales du béton et des mortiers.
- les matériels et méthodes : cette partie sera consacrée à l'étude des propriétés générales, physiques et mécaniques des granulats, ainsi que de l'ensemble des mesures expérimentales effectuées sur les bétons et mortiers.
- les résultats et discussions : ils nous permettront de présenter les résultats obtenus, afin de mieux les discuter et d'en tirer les conclusions nécessaires à l'aboutissement de ce projet.

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans ce chapitre consacré à la synthèse bibliographique, nous nous intéresserons à la généralité sur le ciment, sa fabrication, ainsi que les différents types de ciment. Ce chapitre parlera aussi de façon synoptique des propriétés essentielles des bétons et mortiers, qui sont indispensables pour la suite de notre étude.

Nous parlerons également des différents types de ciments utilisés au Burkina, des différentes usines de fabrication de ciments, des capacités de production et des types de ciments produits.

II.1 LE CIMENT

II.1.1 DEFINITION

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau (Jean FESTA, 1998). Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée à l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps, même à l'abri de l'air notamment sous l'eau.

Ils sont formés de constituant anhydre, cristallisés ou vitreux, renfermant essentiellement de la silice, de l'alumine et de la chaux (Béton et constituants du béton - tome1 - bétons et adjuvants). Le durcissement est dû à l'hydratation de certains composés, principalement des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse de ciment (Jean FESTA, 1998).

II.1.2 COMPOSITION DES CIMENTS COURANTS

Les ciments courants sont composés des constituants principaux, secondaires et des additifs.

a. Constituants principaux

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type du calcaire, du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des fines calcaires, de la pouzzolane naturelle, des schistes calcinés ou des fumées de silice. Ils sont ajoutés dans le but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques.

1) *Clinker portland(K)*

Il est obtenu à la sortie des fours suite au mélange préalable des matières premières constituées principalement de calcaire (80%), d'argile (20%). Le clinker portland est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs composés essentiellement des quatre phases cristallines.

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases, c'est ainsi que :

- le silicate tricalcique également dénommé « alite » (C_3S), libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine du double de celle libérée par le C_2S , donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable des résistances aux premiers âges (court terme).
- le silicate bicalcique ou « bélite » (C_2S), permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et à long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène de prise est plus faible.
- L'aluminate tricalcique C_3A est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait elle contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'elle contribue assez peu à la résistance finale. Elle est par ailleurs facilement attaquée par les sulfates.
- L'alumino ferrite tétracalcique C_4AF , qui forme une solution solide de C_2A et C_2F , réagit moins vite que le C_3A ; son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment

2) *Laitier granulé de haut – fourneau (S)*

C'est un produit de l'industrie métallurgique ayant des propriétés hydrauliques. Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaines scories fondues provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ;

3) *Cendres volantes (V et W)*

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz de chaudières des centrales thermiques et peuvent être, siliceuses (V) ou calcique(W)

4) *Pouzzolanes naturelles (Z)*

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques.

5) *Schistes calcinés (T)*

Obtenus à des températures de l'ordre de 800°C, ils présentent, outre leurs propriétés pouzzolaniques, des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés.

6) *Calcaires (L)*

Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du ciment les calcaires doivent être composés de 75% au moins de CaCO_3

7) *Fumées de silice (D)*

Les fumées de silice sont des particules très fines (environ 1 μm) qui présentent une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferrosilicium. Ce sont des particules environ 100 fois plus petites que les grains de ciment.

b. Constituants secondaires

Ils peuvent être soit l'un des constituants définis précédemment s'ils sont en proportion inférieure à 5%, soit des fillers (F), leur nature exacte et la proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3%.

c. Les additifs

Le sulfate de calcium a pour effet de réguler la prise du ciment. Il peut être soit du gypse, soit de l'anhydrite ou soit de l'hémihydrate. Il doit être ajouté en faible quantité, dans l'ordre de 3 à 5% maximum.

II.1.3 METHODE DE FABRICATION DU CIMENT

La fabrication du ciment, peut se faire suivant différents procédés, mais le résultat final doit permettre l'obtention d'un clinker dont la teneur moyenne des différents oxydes constitutifs est de l'ordre de (Jean FESTA, 1998). :

- 65% de CaO fourchette de 60 à 69%,
- 21% de SiO_2 fourchette de 18 à 24%,
- 6% de Al_2O_3 fourchette de 4 à 8%,
- 3% de Fe_2O_3 fourchette de 1 à 8%,
- 2% de MgO fourchette de 0 à 5% maximum,
- 1% d'alcalis fourchette de 0 à 2% maximum,
- 1% de SO_3 fourchette de 0 à 3% maximum.

Ces proportions permettent de prévoir certaines qualités ultérieures du ciment.

La préparation du cru peut être réalisée suivant quatre procédés différents.

- **La voie sèche** comporte quatre phase à savoir : la pré homogénéisation, le broyage-séchage, la séparation et l'homogénéisation.
 - La pré homogénéisation : cette phase a pour but de réaliser un mélange préliminaire et consiste à déposer les matériaux constitutifs du cru en couches successives, de faible épaisseur, formant le « tas de pré homogénéisation » ;
 - Le broyage-séchage : repris à l'aide des roues pelles ou de gratteurs, le mélange précédent est envoyé à la station de broyage afin d'être réduit en une poudre de grains inférieurs à 160 microns ;
 - La séparation : elle consiste, suivant le type de séparateur utilisé, à renvoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les fines contenues dans les gaz ;
 - L'homogénéisation : c'est au cours de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit.
- **La voie humide** : pratiquement abandonnée en France parce que grande consommatrice d'énergie et qui consiste à préparer une pâte dans des délayeurs, pâte qui est ensuite homogénéisée et stockée. Cette voie s'impose lorsque les matériaux extraits présentent un taux d'humidité élevé ;
- **La voie semi-sèche** : elle consiste à humidifier la poudre obtenue après broyage et séchage pour l'agglomérer sous forme de granules qui sont ensuite cuits sur une grille mobile ;
- **La voie semi-humide** : elle consiste à filtrer la pâte réalisée de façon analogue à la voie humide mais, après filtration, à en faire des boudins qui sont ensuite cuits sur une grille.

II.1.4 PRINCIPE DE FABRICATION DES CIMENTS COURANTS

Sans vouloir entrer dans les détails de la fabrication des ciments, il est cependant nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases.

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions respectivement proches de 80% et 20% (CIMBETON, 2005) (Jean FESTA, 1998) (R. Dupain, 1995).

Le calcaire apporte le calcium ; l'argile apporte la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde de ferrique Fe_2O_3 , le tout nécessaire au processus de la formation du clinker (Jean FESTA, 1998). Ces matières premières contiennent par ailleurs d'autres éléments que ces oxydes fondamentaux, tels que de la magnésie MgO , des sulfates des sulfures, des alcalis K_2O et Na_2O ... dont les pourcentages doivent être contenus en deçà de limites précises (Jean FESTA, 1998).

La fabrication de ciment, comme le montre la *figure 1*, comporte les étapes suivantes :

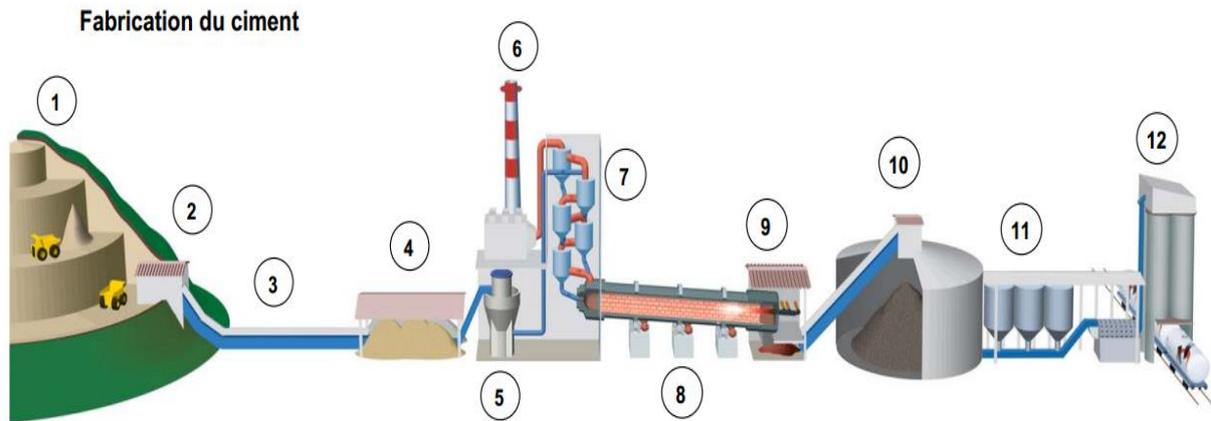


Figure 1 : Schéma du principe de fabrication de ciment (Fiche technique Holcim)

- **La carrière (1)** : les calcaires et les marnes sont extraits au niveau des carrières par minage ou à l'aide d'une pelle mécanique ;
- **Le concasseur (2)** : les blocs obtenus sont réduits dans des concasseurs, qui sont soit à percussion ou à mâchoires, en éléments de dimension maximale de 50mm ;
- **Le transport (3)** : les matières concassées sont transportées jusqu'à l'usine par des camions dumper ou le plus souvent par des bandes transporteuses ;
- **La pré-homogénéisation (4)** : le calcaire et la marne sont mélangés et pré-homogénéisés ;
- **Broyeur à farine (5)** : la matière pré-homogénéisée est moulue et séchée dans un broyeur ;
- **Dépoussiérage (6)** : les poussières émises par les broyeurs ou contenu dans les gaz de combustion sont retenues par des filtres électrostatiques ou à manches ;
- **Echangeur de chaleur (7)** : avant de passer au four rotatif la farine est préchauffée ;
- **Four rotatif (8)** : la farine crue se transforme en clinker sous une température de 1450°C ;
- **Le refroidisseur à clinker(9)** : pour un refroidissement rapide, le clinker est mis en contact avec l'air ;
- **Le silo à clinker(10)** : après refroidissement le clinker fait l'objet d'un stockage en silo ;
- **Le moulin à ciment (11)** : dans ce compartiment, le clinker est Co-broyé avec environ 5% de gypse pour donner du ciment ;
- **La logistique(12)** : le ciment est livré en vrac dans des camions citernes ou dans des Sacs.

II.1.5 LES DIFFERENTS TYPES DES CIMENTS

Selon les constituants, autres que le gypse, qui sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient plusieurs types de ciments définis par la norme (Norme NF P EN 197 - 1: Ciments Partie1: composition, spécification et critère de conformité de ciment courant). Le *tableau 1* donne la liste des différents types de ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

Tableau 1 : les différents types de ciments (Jean FESTA, 1998)¹

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier – pouzzolanes – cendres – calcaires – schistes – fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA – CEM I	Ciment portland	95 à 100%		0 à 5%
CPJ – CEM II/A	Ciment portland composé	80 à 94%	- De 6 à 20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans le cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la composition est limitée à 10%(*) - De 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci – dessus (*)	0 à 5%
CPJ – CEM II/B		65 à 79%		0 à 5%
CHF – CEM III/A	Ciment de haut – fourneau	35 à 64%	36 à 65% de laitier de haut fourneau	0 à 5%
CHF – CEM III/B		20 à 34%		0 à 5%
CHF – CEM III/C		5 à 19%	66 à 80% de laitier de haut fourneau 81 à 95% de laitier de haut – fourneau	0 à 5%
CPZ – CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	60 à 90%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces derniers étant limités à 10%.	0 à 5%
CPZ – CEM IV/B		45 à 64%	36 à 55% comme ci – dessus	0 à 5%

¹ (*) Le pourcentage de fillers est limité à 5%

CLC – CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	18 à 30% de laitier de haut – fourneau de cendres siliceuses ou de pouzzolanes 31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci –dessus	0 à 5%
CLC – CEM V/B		20 à 39%		0 à 5%

II.1.6 LES DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS UTILISES AU BURKINA FASO

Plusieurs types de ciments sont couramment utilisés sur les chantiers de génie civil au Burkina Faso. Ils proviennent de différentes usines. La diversité des usines et carrières conduit aussi à une variété de types de ciment, donnant de quoi à réfléchir pour un choix adéquat du type de ciment à utiliser. A nos jours, il y a quatre usines de production de ciments au Burkina. Ils sont entre autres : CIMBURKINA, CIMFASO et CIMAF ; toutes implantées dans la zone industrielle de Kossodo dans la capitale Ouagadougou et DIAMOND CEMENT installé à la sortie de Ouagadougou sur la Nationale N°1 (RN1) en allant vers Bobo Dioulasso. A ces ciments, il faut aussi ajouter CIMTOGO, importé du Togo et bien vendu sur le marché burkinabé. L'*annexe 1* nous présente les différents emballages et prix des différents types de ciments étudiés. Nous décrivons comme suit les usines de fabrication de ciment au Burkina Faso :

- CIMBURKINA (ciment étalon) : avec une capacité de production annuelle de 700 000 tonnes de ciments par an, produit deux types de ciment : CEM II 42.5R appelé spécial et CEM IIBL qui est le ciment classique. Le clinker et le gypse, matériaux entrant dans le cadre de fabrication du ciment sont importés du Togo, où il existe une usine du même groupe (Heidelberg cement), à savoir CIMTOGO. En plus de ces matériaux importés, le calcaire dolomitique produit à Dandé dans la région de Bobo Dioulasso est ajouté à la fabrication.
- CIMFASO (ciment éléphant) : est une filiale du consortium CIM – METAL GROUP, a une capacité de production annuelle de 1 000 000 de tonnes par an extensible à 1 200 000 tonnes. Elle propose une gamme variée de ciment dont le CEMI 42.5 (sac de couleur rouge, équivalent du CPA 45), le CEMII 42.5 (sac de couleur bleue, équivalent du CPJ45). Le CEMII 32.5 (sac de couleur verte, équivalent du CPJ 35) et du CEMI 52.5 (produit spécial sur commande conformément aux spécifications du prescripteur).

- DIAMOND CEMENT : L'usine a une capacité de production de 600 000 tonne par an et elle fabrique deux types de ciment, notamment le CPA45 et le CPJ45. Les deux matières premières de base sont le gypse et le clinker. Il faut aussi noter que pour la fabrication du CPJ45 une matière première complémentaire est utilisée. Elle est disponible localement : c'est le tuffeau, exploité dans les environs du Sanmatenga. La nuance entre les deux produits finis se situe au niveau de leur capacité de résistance par rapport au climat.
- CIMAF (ciment de l'Afrique) : créé en 2011, le groupe CIMAF envisage reproduire à travers toute l'Afrique le modèle de réussite technologique, managériale et environnementale, que représentent les cimenteries : ciment de l'Atlas (CIMAT) au Maroc. L'usine a une capacité de production de 500 000 tonnes de ciment par an, extensibles à 1 000 000 de tonnes selon la demande. Au Burkina, l'usine produit deux types de ciment, le super CPA45 et le super CPJ45. Le calcaire entrant dans la fabrication des ciments est importé, tandis que le tuffeau est exploité localement.
- CIMTOGO (ciment toro) : produit au Togo, est un ciment de type CPA 45 que nous rencontrons couramment sur le marché burkinabé. Selon les slogans et affiches CIMTOGO est devenu CIMBURKUNA. En dehors du calcaire dolomitique produit à Dandé dans la région de Bobo Dioulasso, les matières premières entrant dans la fabrication de CIMTOGO sont importées pour la fabrication de CIMBURKINA.

II.2 BETON ET MORTIER

II.2.1 DEFINITION

On appelle mortiers ou béton, les matériaux obtenus en gâchant dans un malaxeur des proportions convenables de ciment, d'eau et de granulats avec éventuellement un ou plusieurs adjuvants. C'est la dimension D du plus gros granulats qui détermine l'appellation : mortier pour $D \leq 4\text{mm}$, bétons pour $D \geq 4\text{mm}$ (R. Dupain, 1995).

Les différents granulats forment le squelette granulaire du mortier ou du béton. Le ciment, l'eau et les adjuvants forment la pâte liante. En l'absence du squelette granulaire, c'est la "pâte de ciment pure" (R. Dupain, 1995).

II.2.2 PROPRIETES DU BETON

Le béton est considéré sous deux états :

- Le béton frais : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie de l'appareil de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans le coffrage aménagé à cet effet ;
- Le béton durci : c'est un solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement des réactions physico – chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas du béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant
- La forme des granulats
- La granularité et la granulométrie
- Le dosage en eau.

L'ouvrabilité peut être appréciée de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests permettant de mesurer certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous ne notons ici que l'affaissement au cône d'Abrams et la masse volumique du béton frais.

Lorsque le béton durcit, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La faible porosité ou la compacité d'un béton est un atout déterminant pour sa durabilité ;
- La performance souvent recherchée sur le béton durci est sa bonne résistance à la compression ;
- Dans l'évolution du béton le retrait est une caractéristique prévisible ;
- Les caractéristiques de déformation du béton sont connues et peuvent être mesurées.

Parmi les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni – axiale est la plus étudiée, probablement parce qu'elle donne de façon générale une image globale de la

qualité du béton, étant donné qu'elle est directement liée à la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance en compression du béton est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et de l'établissement des spécifications de conformité.

La résistance et l'ouvrabilité du béton sont étudiées de pair car elles sont étroitement liées et dépendantes l'une de l'autre ; d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours : f_{c28} . Elle est mesurée par une charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16cm de diamètre et de 32cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture au moyen d'une presse à béton, la charge maximale est enregistrée et la résistance en compression calculée.

II.2.3 FORMULATION DE BETON

L'étude de la composition de béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie de l'ouvrage en cause.

Il existe plusieurs méthodes de composition de béton, elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférence pondéraux, mais le passage d'une méthode à l'autre peut toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac. On distingue en fonction de la granularité du mélange constituant le béton deux types de méthodes de composition de béton :

- **A granularité continue** : lorsqu'une analyse du mélange constituant le béton donne sur le graphique granulométrique une courbe s'élevant d'une façon continue du plus petit grain de ciment au plus gros grain de graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées (Jean FESTA, 1998) ;
- **A granularité discontinue** : lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un pallier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires (Jean FESTA, 1998).

Parmi les diverses méthodes de composition de béton nous pouvons citer :

- la méthode de Bolomey, qui a pour formule de base $p = A + (100 - A) \times \frac{d}{D}$, permettant de tracer la courbe granulométrique de référence (Jean FESTA, 1998).

- la méthode de Faury s'inspire d'une théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen (Jean FESTA, 1998).
- la méthode de Valette est essentiellement expérimentale et nécessite un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou encore « dosage des bétons à granularité discontinue » (Jean FESTA, 1998).
- la méthode d'Abrams : c'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer (Jean FESTA, 1998).
- la méthode de Dreux – Gorisse dite méthode complète
- etc.

II.2.4 LE MORTIER

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme (Norme EN 196 - 1: méthodes d'essais de ciments-Partie1: détermination des résistances mécaniques), qui décrit le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

Le sable utilisé est un sable appelé 'sable normalisé CEN EN 196 – 1', lui-même étant défini par rapport à un 'sable de référence CEN'.

Le rapport E/C du mortier normal est de 0,5 et il est malaxé pendant quatre (4) minutes avant toute utilisation pour les essais comme : la maniabilité, la prise, de résistance ou de retrait.

Comme le béton, le mortier se présente aussi sous deux états : le mortier frais et le mortier durci.

Les mesures effectuées sur le mortier frais sont entre autres :

- La mesure de la consistance, effectuée selon les normes (Norme NF P 18 - 452: Béton-mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au maniabilimètre) et (Norme NF P 15 437: Liants hydrauliques-technique des essais-caractérisation des ciments par mesure de la fluidité)
- La mesure du temps de prise, selon les normes (Norme NF P 15 - 431: liants hydrauliques-technique des essais-détermination du temps de prise)et (Norme NF P 18 - 356: Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis- détermination du temps de prise sur mortier)

Sur les mortiers durcis les mesures effectuées se présentent comme suit :

- La mesure des résistances à la compression et à la traction conformément à la norme (Norme EN 196 - 1: méthodes d'essais de ciments-Partie1: détermination des résistances mécaniques)

- Le durcissement
- La porosité
- L'évaluation de la masse volumique par pesée hydrostatique
- Ainsi que les mesures de retraits et gonflement.

II.3 LA RHEOLOGIE DES MATERIAUX CIMENTAIRES : BETON ET MORTIER

Le vocable "rhéologie" vient du mot grec "rhein", signifiant "s'écouler", "fluer" et "logos", qui peut être traduit par discours. Il s'agit de la branche de la physique qui s'occupe de mesurer, de modéliser, de prévoir l'écoulement des différents fluides (Fabbris, 2013).

Elle a pour but principal d'étudier la réponse différente que chaque fluide oppose aux sollicitations mécaniques qu'il subit, de façon générale quelles qu'elles soient ou quelles que soient ces sollicitations (comportements intrinsèques des fluides) (Fabbris, 2013).

Les études rhéologiques se situent sur trois axes : d'abord la recherche expérimentale sur les matériaux réels, ensuite l'étude théorique des diverses formes de lois de comportement (étude macroscopique), enfin, l'influence de la structure de la matière sur ce comportement : molécules, grain...

La rhéologie du béton et du mortier sont influencées notamment par :

- le temps : depuis sa confection jusqu'à la prise, le béton ne cesse d'évoluer, tout en restant fluide (le seuil d'écoulement du béton augmente). Cette évolution n'est pas univoque, car un béton remué continuellement évoluera de façon différente d'un béton permanemment au repos (Fabbris, 2013).
- la température : elle a également un effet très important sur l'écoulement du béton, car une température très élevée augmente la mobilité des molécules en accélérant les processus irréversibles (hydratation) (Fabbris, 2013) ;
- la composition du béton : un béton avec un rapport E/C plus élevé, présente une viscosité et un seuil d'écoulement plus faible (Fabbris, 2013) ;
- la nature des constituants : la nature du ciment (sa finesse), du sable, des additions, la courbe granulométrique globale, le facteur de forme des granulats ont tous des effets différents et décisifs sur le comportement logique du béton (des granulats roulés permettront un écoulement plus aisé du béton que des

granulats concassés. De même, la présence limitée d'ultrafines comme la fumée de silice peut favoriser la vitesse d'écoulement) (Fabbris, 2013).

- les adjuvants, qui ont été ajoutés dans le but précis de modifier et de contrôler la rhéologie du béton. Il faudrait donc citer les super plastifiants qui diminuent le seuil d'écoulement, ainsi que la viscosité d'un béton donné (en agissant sur l'état de floculation des particules de ciment) (Fabbris, 2013).

CONCLUSION PARTIELLE

En conclusion, nous notons qu'il existe quatre méthodes de fabrication de ciment, aboutissant au même résultat. La rhéologie des bétons et mortier est influencée par plusieurs facteurs entre autres : la température, la nature des constituants, le rapport E/C... Nous avons également identifié dans ce chapitre les différents types de ciment utilisés au Burkina Faso, qui sont entre autre : CIMTOGO, CIMFASO, DIAMOND, CIMAF et CIMBURKINA.

Dans le prochain chapitre, nous nous intéresserons aux matériels et méthodes nécessaires à notre étude.

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

Dans le souci de mener une bonne discussion et analyse, nous traiterons, dans ce chapitre, la caractérisation des matériaux et les dispositifs expérimentaux. Dans la partie caractérisation des matériaux, nous nous intéressons à la détermination des traits spécifiques (propriétés générales, caractéristiques mécaniques et physiques) des granulats au moyen des essais. Ces essais sont entre autres : l'analyse granulométrique, l'équivalent de sable, la détermination de la masse volumique apparente, de la résistance à la fragmentation et du poids spécifique au pycnomètre à air. Les dispositifs expérimentaux nous permettront de présenter les essais réalisés sur les bétons et mortiers aux états frais et durci, ainsi que sur les ciments.

III.1 CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1.1 LES PROPRIETES GENERALES DES GRANULATS

a) Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer, à l'aide d'une série de tamis les différents diamètres des grains qui constituent un granulat (*figure 2*). Effectuée selon la norme (Norme NF P 18 - 560), elle a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes dimensions qui constituent un matériau grenu (sable, gravier ou mélange).



Figure 2: série de tamis utilisés pour l'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été effectuée sur le sable et le gravier utilisés respectivement pour la formulation des mortiers et bétons. Les résultats des analyses granulométriques sont présentés en *annexe 2*. A partir de ces résultats, nous avons obtenus les éléments caractéristiques présentés dans le *tableau 2*.

Tableau 2: Eléments caractéristiques du sable et gravier

Désignation	Sable	Gravier
Module de Finesse (M _{dF})	2,4	-
Coefficient d'uniformité (C _u)	2,83	1,36
Coefficient de courbure (C _c)	2,17	0,96

Les résultats consignés dans le *tableau 2* montrent que le sable a une granulométrie étalée tandis que la granulométrie du gravier est uniforme. Le module de finesse nous permet de dire que le sable est bon pour le béton : parce que son module de finesse est compris entre 2.2 et 2.8. (Protocole de TP, 2014 – 2015)

Les analyses granulométriques des différents types de ciment que nous allons étudier ont été également effectuées. Les courbes granulométriques caractéristiques des différents ciments sont présentées en *annexe 2* et le *tableau 3* nous présente les coefficients de courbure de chaque courbe caractérisant un type de ciment défini.

Tableau 3 : Coefficient de courbure des différentes courbes granulométriques des ciments étudiés

Désignation	CIMTOGO	CIMAF	DIAMOND	CIMFASO	CIMBURKINA
Coefficient de courbure (C _c)	1,20	1,43	1,49	1,50	1,40

Les coefficients de courbures sont compris entre 1 et 3, cela nous permet de dire que les courbes caractéristiques des différents types de ciments sont bien graduées.

b) Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable, effectué selon la norme (Norme NFP 18 - 598), permet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins contenu dans ce sable. Il est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse (R. Dupain, 1995). La *figure 3* nous présente le dispositif utilisé pour la détermination de l'équivalent de sable.



Figure 3: Agitateur d'équivalent de sable et tube à essai

Il faut signaler que le sable utilisé provient de la rivière de Manga. Nous l'avons lavé avant de l'utiliser dans nos formulations. Les fiches indiquant les proportions (quantités prélevées) des matériaux utilisés lors de l'essai sont présentées en *annexe 3*. Le *tableau 4* donne une idée générale sur la propreté du sable utilisé.

Tableau 4: Caractéristiques du sable de Manga

Désignation	Sable non lavé	Sable lavé
Equivalent de sable à vue (ES _v)	85	99
Equivalent de sable au piston (ES _p)	77	98

Un sable très propre doit avoir un équivalent de sable à supérieur ou égale 85 à vue et 80 au piston. Nous concluons donc que le sable utilisé est très propre.

c) Détermination de la surface spécifique des ciments

La surface spécifique (finesse Blaine), permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment. Elle est caractérisée par la surface spécifique ou la surface totale ou surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment (CIMBETON, 2005). La détermination de la surface spécifique est effectué suivant la norme (Norme EN 196 - 6), elle s'exprime en cm²/g, suivant le type de ciment cette valeur est généralement comprise entre 2800 et 5000 cm²/g (CIMBETON, 2005). Pour notre projet, la méthode utilisée pour la détermination des surfaces spécifiques est la méthode BET, le *tableau 5* nous les résultats obtenus.

Tableau 5: Surface spécifique BET des ciments étudiés

Désignation	CIMTOGO	CIMAF	DIAMOND	CIMFASO	CIMBURKINA
Surface spécifique BET (cm ² /g)	8882	14855	12316	9700.6	12653

Les résultats des surfaces spécifiques nous permettent de dire que CIMTOGO et CIMFASO sont broyés plus finement que les autres types de ciment et nous pouvons espérer avoir des bonnes résistances sur ces deux types de ciments.

III.1 .2 LES PROPRIETES MECANIQUES ET PHYSIQUES DES GRANULATS

a) La résistance à la fragmentation ou l’essai Los Angeles

L’essai Los Angeles est effectué suivant la norme (Norme NF P 18 - 573) et il a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs d’un échantillon de granulats.

Le coefficient Los Angeles est le rapport entre la masse du refus lavés au tamis 1,6 mm de l’échantillon après passage en machine (*figure 4*) sur la masse initiale (R. Dupain, 1995).



Figure 4: Machine Los Angeles et boules d’essai

Les granulats entrant dans la formulation de nos bétons ont été soumis à l’essai de résistance à la fragmentation, pour déterminer leur aptitude à être utilisé dans le béton ou pas. Le gravier provient de la carrière de Ziniaré. Les essais ont été effectués selon trois classes granulaires (*tableau 6*), les fiches relatives à ces essais sont présentées en *annexe 4*.

Tableau 6: Coefficient Los Angeles suivant les différentes classes granulaires

Désignation	Classes granulaires		
	4/6,3	6,3/10	10/25
Coefficient Los Angeles (L_A)	30	36	21

Les granulats peuvent être utilisés pour la formulation de béton. Plus encore les granulats de classes 6.3/10 et 10/25 peuvent aussi être utilisés dans les corps de chaussées (R. Dupain, 1995).

b) La masse volumique apparente

La masse volumique apparente représente la masse du matériau par unité par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l’ordre de 1000kg/m³ (1kg/l) en moyenne pour un ciment (CIMBETON, 2005). La mesure de la masse volumique apparente s’effectue suivant les

normes (Norme NF P 18 - 554) et (Norme NF P 18 - 555), elle a pour but déterminer de manière rapide le poids volumique apparent sec (ρ_d) d'un sable ou ciment pulvérulent en vrac. C'est une méthode directement liée aux conditions de chantier, en particulier quant à la confection des bétons où mortiers. A cet effet, la masse volumique apparente du sable et ciment entrant dans la formulation de nos bétons et mortiers a été mesurée au moyen d'un cône normalisé comme l'indique la *figure 5*. L'*annexe 5* nous présente les proportions des matériaux ayant servi au calcul de la densité apparente.



Figure 5: Cône normalisé pour mesure de densité apparente

Le *tableau 7* présente les différentes densités apparentes des matériaux étudiés

Tableau 7: Densités apparentes sable, gravier et ciments

Désignation	Sable	Gravier	CIMENT				
			CIMTOGO	CIMFASO	CIMBURKINA	CIMAF	DIAMOND
Densité apparente s (t/m^3)	1,5	1,47	0,98	1,03	1,03	0,98	1,07

Les différents ciments présentent des densités apparentes égales à environ 1, nous concluons que les différents ciments ont le même poids volumique apparent sec (ρ_d).

c) Masse volumique spécifique

La masse volumique spécifique représente la masse du matériau par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie entre 2900 à 3150kg/m³ suivant le type de ciment

(CIMBETON, 2005). Elle est mesurée à l’aide du pycnomètre à air, qui est constitué de deux enceintes volumiques se communiquant entre elles par l’intermédiaire d’une soupape. L’essai au pycnomètre à air (*figure6*) est effectué conformément à la norme (Norme EN 196 - 1), et consiste à déterminer le poids spécifique d’un granulat ou d’un échantillon de sol. La mesure des masses volumiques spécifiques de tous les matériaux utilisés a été effectuée au pycnomètre. Ces matériaux sont entre autre : le gravier, le sable et le ciment. La fiche des résultats est présentée en *annexe 6*.



Figure 6: Pycnomètre à air

Les densités spécifiques des matériaux utilisés présentées dans le *tableau 8* :

Tableau 8: Densité spécifique sable, gravier et ciments

Désignation	Sable	Gravier	CIMENT				
			CIMTOGO	CIMFASO	CIMBURKINA	CIMAF	DIAMOND
Densité spécifique $\delta(t/m^3)$	2,6	2,7	3,21	3,28	3,22	3,26	3,29

Nous pouvons dire de ces résultats que CIMFASO, CIMAF et DIAMOND contiennent plus d’oxyde de fer que les autres types de ciments.

III.2 DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

III.2.1 ELABORATION DES BETONS ET MORTIERS

a) Béton

La méthode utilisée pour la formulation de béton est la méthode de Dreux Gorisse : *la méthode dite méthode complète*. Elle nous a permis de déterminer les proportions du ciment, sable, gravier et l'eau entrant dans la composition du béton. En utilisant les résultats des analyses granulométriques nous avons obtenus les pourcentages des graviers et sables (*figure 7*) entrant dans la formulation du béton.

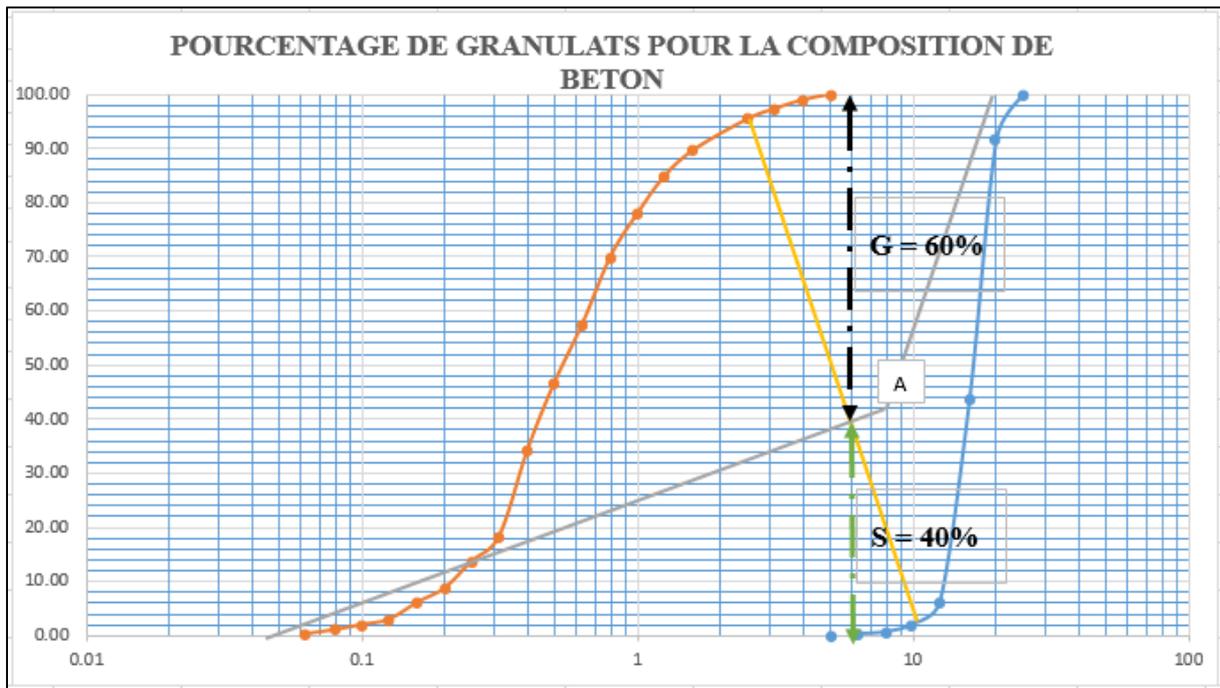


Figure 7: Pourcentage des granulats entrant dans la composition du béton

Les notes de calculs relatifs à la formulation du béton se trouvent en *annexe 7*. Pour une résistance souhaitée à 28 jours de 25 MPa et nous obtenons pour 1m^3 de béton les proportions suivantes des constituants :

Tableau 9: Dosage du mètre cube de béton et quantité des constituants

	Ciment	Eau	Gravier	Sable
Quantité (kg/m^3)	350	196	1176	755

Les proportions ainsi calculées ont été respectées dans la composition réelle de nos bétons.

b) mortier

Dans notre étude le mortier utilisé est de type normal. Comme définit dans la synthèse bibliographique, le mortier normal est un mortier qui sert à déterminer certaines caractéristiques

d'un ciment et notamment sa résistance. Les rapports E/C et S/C utilisés dans la composition du mortier normal sont : **E/C = 0,5 ; S/C = 3 et A/C = 0,01**

Les proportions obtenues pour 1m³de mortier sont les suivants :

Tableau 10: Dosage du mètre cube de mortier

	Ciment	Sable	Eau	Adjuvant (Super plastifiant)
Quantité (kg/m³)	400	1200	200	4

III.2.2 CARACTERISATION DU BETONS ET MORTIERS A L'ETAT FRAIS

a) Essai sur le ciment

➤ Mesure du temps d'écoulement

La méthode de coulis, est la méthode utilisée pour étudier le comportement rhéologique d'un ciment en présence d'un super plastifiant. Cette méthode consiste à mesurer la perte de fluidité dans le temps d'un coulis de ciment. Le dispositif utilisé pour cet essai est le cône de Marsh (*figure 16*). L'essai consiste à mesurer le temps qu'il faut pour vider un cône contenant 1 litre de coulis à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre. Ce temps est de $31,5 \pm 0,5$ secondes pour l'eau (Hallal .A, 2011).

A cet effet l'essai au cône de Marsh nous a permis de mesurer le temps nécessaire pour remplir 350ml pour chaque type de ciment. Il faut aussi signaler qu'une quantité de super plastifiant est ajoutée à la formulation pour améliorer l'ouvrabilité du coulis. Les proportions du mélange effectué sont répertoriées dans le *tableau 11* :

Tableau 11: composition du coulis de ciment

Désignation	Ciment	Eau	Super plastifiant (A)
Quantité	500g	250g	5g
Rapports (E/C et A/C)	-	0,5	0,01

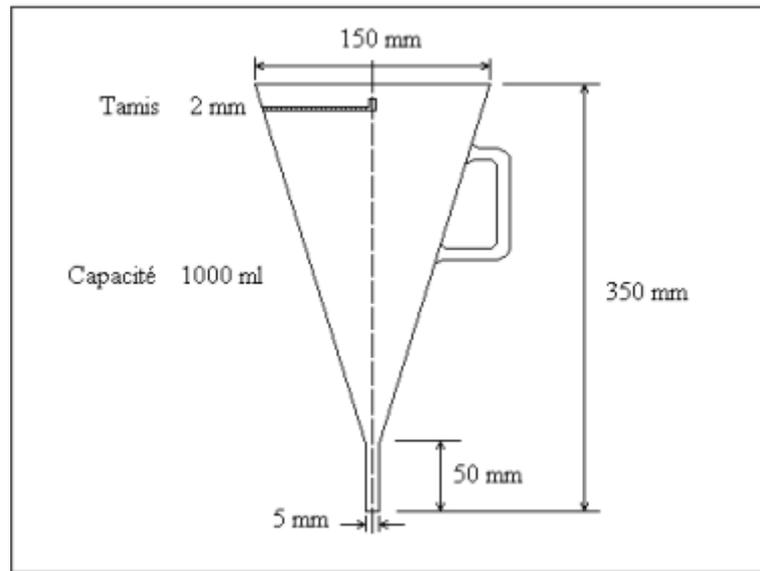


Figure 8: Cône de Marsh (Hallal .A, 2011)

b) Mortiers à l'état frais

➤ Affaissement au mini cône d'Abrams

L'essai au mini – cône est souvent fait pour contrôler la maniabilité des enduits et mortier à l'état frais par mesure de l'affaissement. Il est effectué suivant un mode opératoire identique au contrôle de la maniabilité des bétons à l'état frais au moyen du cône d'Abrams (R. Dupain, 1995). Le dispositif utilisé pour les mesures des affaissements sur les mortiers de ciment est présenté à la figure 9.



Figure 9: Vue générale de l'appareillage

➤ **Mesure du temps de prise**

L'essai est effectué sur le mortier normal et est gouverné par la norme (Norme NF P 15 - 431). Il consiste à suivre la transformation d'état d'un matériau visqueux, facile à travailler à l'état d'un matériau durci (plus difficile voire impossible à travailler). L'outil de mesure est l'appareil de Vicat (*figure 10*) et le temps de début de prise est déterminé au moment où l'aiguille de 1,13 mm de diamètre cesse de s'enfoncer sous l'effet d'un chargement de 1 000g et s'arrête à une distance d du fond du moule de 2,5mm (R. Dupain, 1995).



Figure 10: Appareil de Vicat

➤ **Confection des éprouvettes de mortier**

La fabrication des éprouvettes commence avec le malaxage du mortier normal dans la cuve du malaxeur électrique (*figure 11a*). A la fin du malaxage le mortier est introduit en deux couche dans les moules spécialement aménagés à cet effet et serré au moyen d'un appareil à choc (*figure 11b*). La norme (Norme EN 196 - 1) décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.



Figure 11: Malaxeur électrique et appareil à choc surmonté du moule 4*4*16

c) Bétons à l'état frais

➤ Affaissement au cône d'Abrams ou Slump test

L'affaissement au cône d'Abrams est couramment utilisé, car il est très simple à mettre en œuvre. Il est effectué conformément à la norme (Norme NF P 18 - 451) et il consiste à mouler des troncs de cône en béton (base de diamètre 20cm, partie haute de diamètre 10cm) (*figure 12a*). On remplit le cône en trois (03) couches piquées chacune 25 coups avec une tige métallique de 16 mm de diamètre. Le moule est ensuite soulevé avec délicatesse et l'on mesure, aussitôt après, l'affaissement ou slump (*figure 12b*) (R. Dupain, 1995).



Figure 12: Cône d'Abrams et mesure de l'affaissement

➤ **Mesure de la densité du béton à l'état frais**

La densité du béton dépend d'un certain nombre de facteurs dont le principal est la teneur en eau, elle – même fonction de l'hygrométrie et de la température ambiante. La mesure de la densité fraîche permet de vérifier la densité théoriquement calculée. On compare ensuite la densité réelle du béton mis en œuvre et la densité théorique : si la densité théorique est supérieure à la densité réelle, c'est qu'on a réalisé plus d'un mètre cube de béton et inversement. A la suite de la comparaison on fait porter des corrections sur les dosages en sable et gravier pour garder un même dosage en ciment (pour 1m^3) (Jean FESTA, 1998).

➤ **Confection des éprouvettes de béton**

Les bétons malaxés sont moulés dans des moules de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les dimensions des moules sont gouvernées par la norme (Norme NF P 18 - 400), tandis que la mise en place et la conservation du béton pour les essais d'étude, de convenance ou de contrôle sont eux gouvernés par la norme (Norme NF P 18 - 404). Les bétons ainsi moulés (*figure 13a*) sont conservés dans un bassin de maturation (*figure 13b*) jusqu'aux jours prévus des écrasements.



Figure 13: Moule 16*32 et bassin de maturation

III.2.3 CARACTERISATION DES BETONS ET MORTIERS A L'ETAT DURCIS

a) Mortiers à l'état durcis

➤ **Evolution de la porosité**

La porosité est une propriété d'un corps qui présente de très petits orifices, de très petites cavités. Elle est aussi une propriété physique nécessaire à la compréhension de la résistance des

mortiers (R. Dupain, 1995). A cet effet des mesures de porosités ont été faites sur les éprouvettes de mortier formulées. Nous signalons que la porosité accessible à l'eau a été effectuée sur les éprouvettes séchées à la température ambiante pendant 24h.

La porosité est exprimée comme suit :

$$P(\%) = \frac{(M_{air} - M_{sec})}{(M_{air} - M_{eau})} \times 100$$

➤ Essai de flexion et de compression

Le but principal de cet essai est de définir les qualités de la résistance d'un ciment. Il consiste à étudier les résistances à la flexion et à la compression d'éprouvette de mortier normal. La résistance du mortier est alors considéré significative de la résistance du ciment. La norme (Norme EN 196 - 1) décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au dispositif décrit sur la *figure 14*.

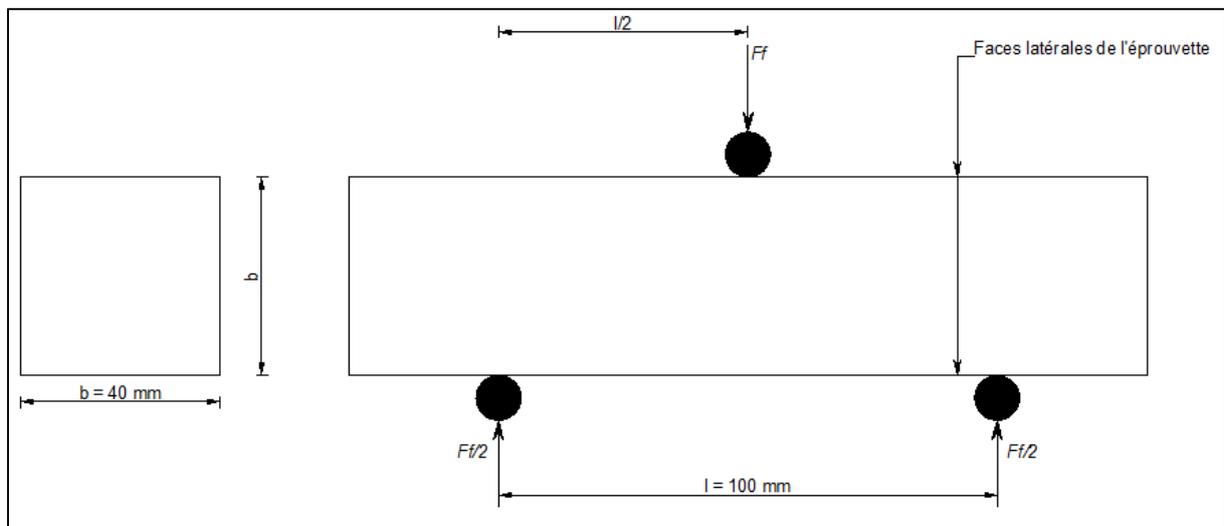


Figure 14: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (R. Dupain, 1995)

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 :

$$R_f = 1,5 F_f l / b^3$$

La contrainte ainsi calculée est appelée contrainte en flexion. Suivant les dimensions b et l des éprouvettes, si F_f est exprimé en newtons (N), la résistance est exprimée en méga pascal (MPa) et est égale :

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

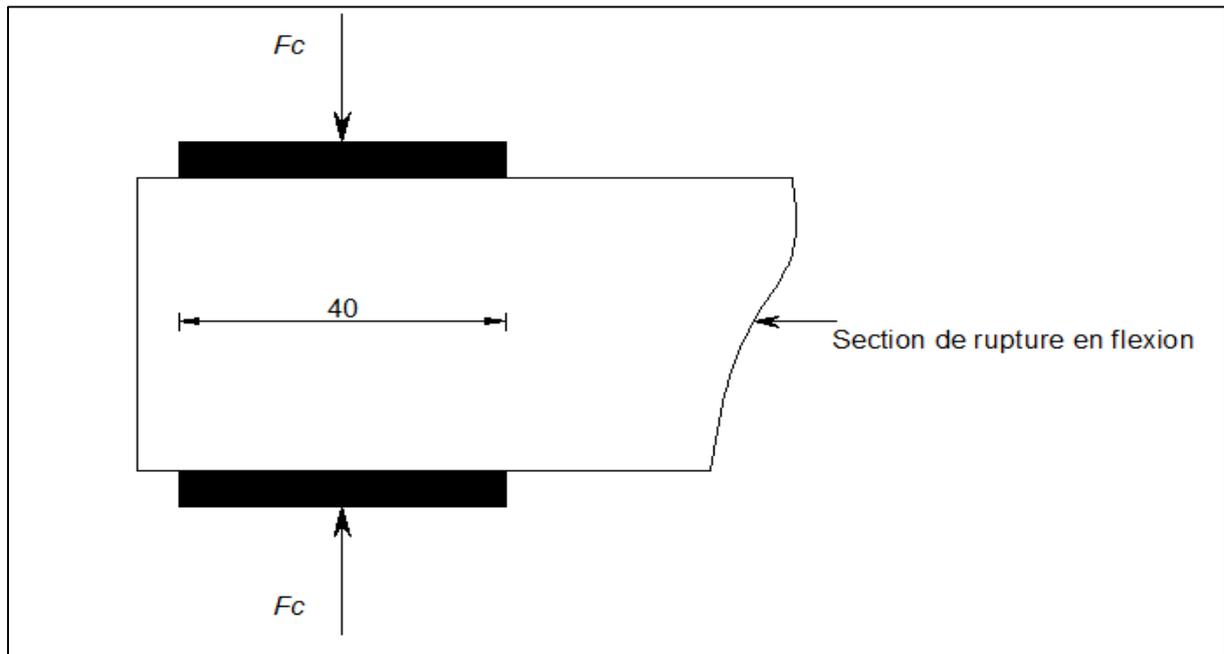


Figure 15: Dispositif de rupture en compression (R. Dupain, 1995)

Les demi-échantillons issus de la rupture en flexion sont rompus en compression comme indiqué sur la *figure 15*. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaut :

$$R_c (\text{MPa}) = F_c (\text{N})/b^2$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression, si F_c est exprimée en newtons, la résistance est exprimée en mégapascal et vaut :

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

b) Essais sur les bétons durcis

➤ **Evolution de la masse volumique semi – humide du béton**

La masse volumique, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. Elle est déterminée par le rapport

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Où m est la masse de la substance homogène occupant le volume V .

➤ **Rectification des éprouvettes et essai de compression**

L'essai de compression de béton a pour but de connaître la résistance en compression d'une éprouvette de béton. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à rupture. La résistance en compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale

de l'éprouvette. Cet essai est fait sur les éprouvettes à 7, 28 et 90 jours d'âge (R. Dupain, 1995). Conformément à la norme (Norme NF P 18 - 406), l'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. La rectification consiste à rendre les surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette.

Il existe deux méthodes possibles de rectification des éprouvettes : le surfaçage au soufre et la rectification par usinages des extrémités (R. Dupain, 1995).

Le surfaçage au soufre est effectué suivant la norme (Norme NF P 18 - 416), et consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant deux exigences : la planéité et la perpendicularité aux génératrices. Pour ce projet, une presse de capacité 2000KN (*figure 16*) nous a permis d'effectuer nos différents écrasements de bétons.



Figure 16: Presse à béton capacité 2000KN

CONCLUSION PARTIELLE

Le chapitre portant sur les matériels et méthodes nous a permis de caractériser les différents matériaux (sable, ciment et gravier) utilisés dans nos formulations de béton et mortier. Il nous a aussi permis de décrire et d'expliquer succinctement les dispositifs expérimentaux utilisés, ainsi que les essais effectués.

Le chapitre 3 nous présentera les résultats issus des différents essais effectués. Pour une bonne interprétation, une discussion s'en suivra.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 BETONS ET MORTIERS A L'ETAT FRAIS

IV.1.1 MORTIERS A L'ETAT FRAIS

a) Ecoulement au cône de Marsh

L'écoulement au cône de Marsh, permet de mesurer le temps nécessaire pour vider un cône contenant un litre coulis de ciment à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre. A cet effet les histogrammes présentés à la *figure 17* correspondent aux temps d'écoulement de chaque coulis de ciments étudiés pour remplir 350ml.

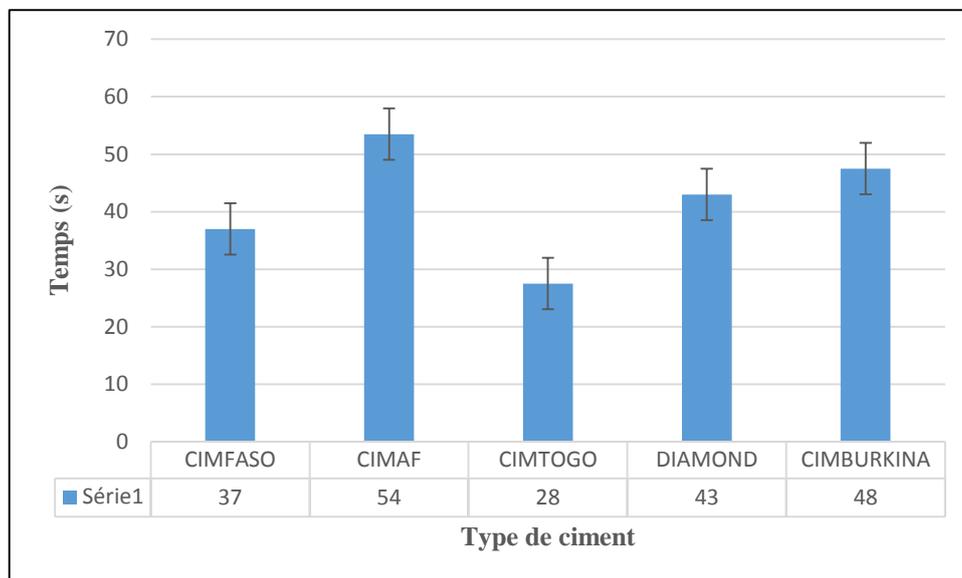


Figure 17: Temps d'écoulement des différents types de ciments étudiés

Sur cette figure le temps d'écoulement du coulis de CIMAF est plus élevé que celui des autres ciments. En nous référant aux résultats des surfaces spécifiques que nous avons présenté dans la partie caractérisation des matériaux, nous notons que la surface spécifique BET à une influence considérable sur la fluidité des coulis des ciments : **plus la surface spécifique BET d'un ciment est grande, moins est la fluidité du coulis de ce ciment**. Il faut dire aussi que les analyses granulométriques ayant permis de déterminer les surfaces spécifiques sont en accord avec les résultats de l'écoulement au cône.

b) Affaissement sur mortier

Le mini cône d'Abrams nous permet de contrôler la maniabilité des enduits et mortiers frais par mesure des affaissements. A cet effet des mesures des affaissements sur les différents types de ciments que nous étudions, ont été effectuées et la *figure 18* nous présente les résultats obtenus de ces mesures.

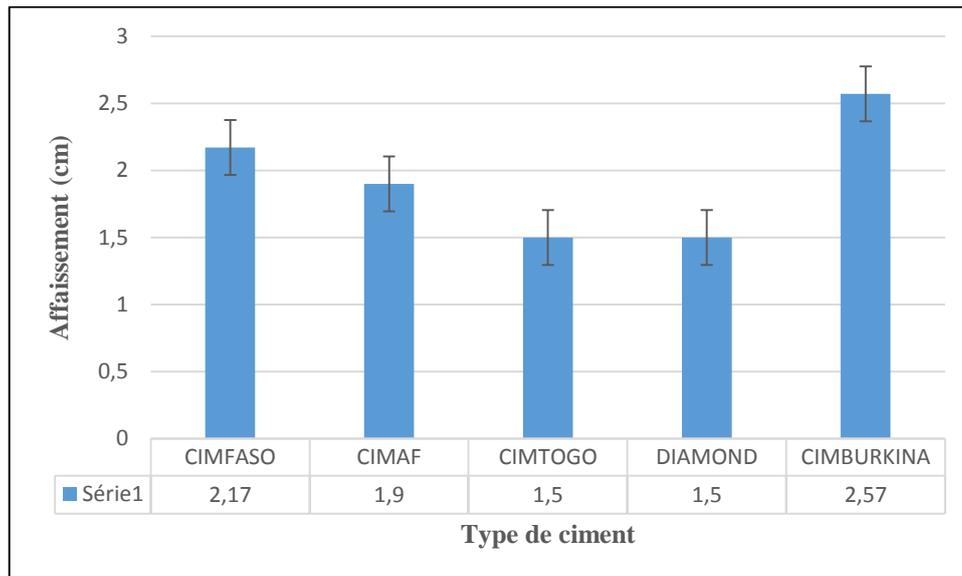


Figure 18: Affaissement sur les mortiers de ciments

L'affaissement est caractérisé par une perte de hauteur des mortiers moulés au cône d'Abrams. Nous constatons ici que la perte de hauteur sur CIMBURKINA est supérieure aux autres pertes de hauteur suivit de CIMFASO, CIMAF, CIMTOGO et DIAMOND. Ces différences entre les affaissements pourraient s'expliquer par les caractéristiques intrinsèques de chaque type de ciments.

c) Temps De Prise Sur Mortier Normal

La prise est l'état de la pâte de ciment, de mortier ou de béton lorsqu'il perd sa plasticité. Le temps de début de prise correspond à l'instant où l'aiguille de 1,13 mm cesse de s'enfoncer de 2,5mm. Nous avons relevé ce temps sur les différents ciments étudiés (figure 19).

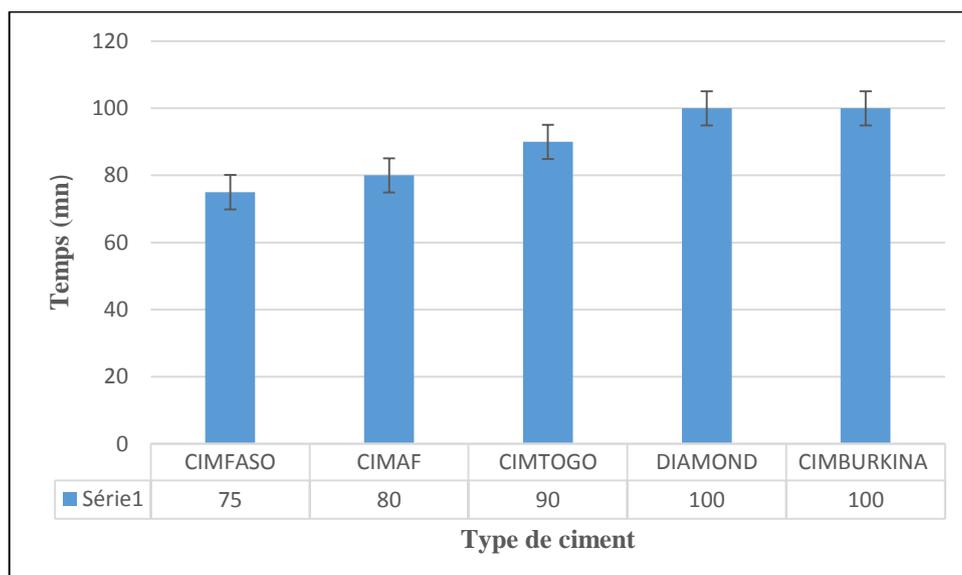


Figure 19: Temps de prise en fonction des types de ciments

Dans les mêmes conditions, nous constatons que les temps de début de prise sur les différents ciments étudiés varient d'un ciment à un autre. Comme le souligne (Jean FESTA, 1998), le début de prise est d'autant plus rapide que la finesse de mouture est grande. Donc nous pouvons dire aux vues de ces résultats, que CIMFASO est broyés plus finement, suivit de CIMAF et CIMTOGO. CIMBURKINA et DIAMOND ont le même temps de début de prise. Il faut souligner que la phase de prise, au cours de laquelle la pâte acquiert une certaine consistance due à l'interpénétration des cristaux est bien effectuée sur CIMFASO et CIMAF.

IV.1.2 BETONS A L'ETAT FRAIS

a) Densité Du Béton à l'état Frais

La mesure de la densité fraîche est effectuée, dans le cadre de la vérification de la densité calculée. Ainsi la *figure 20* nous présente les densités des bétons à l'état frais des types de ciments étudiés.

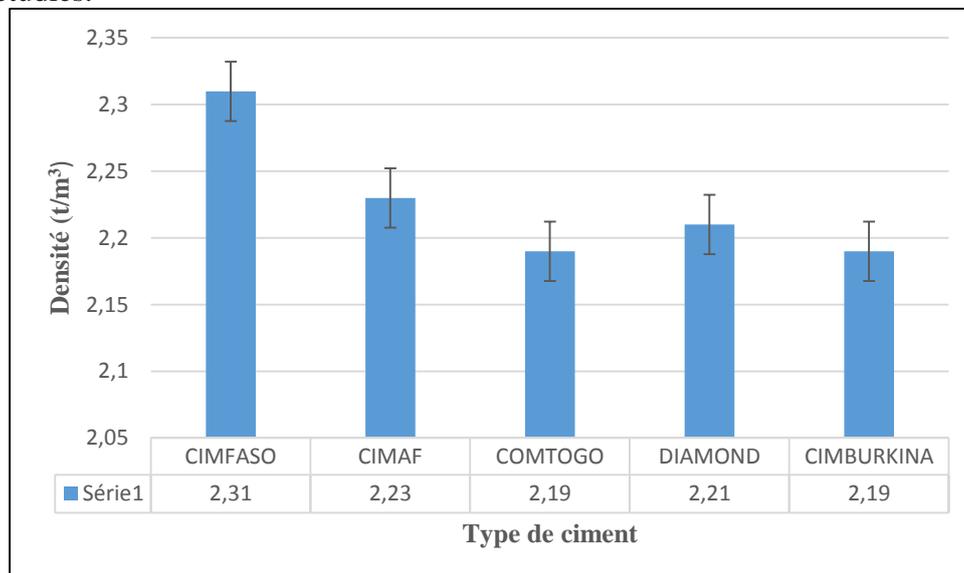


Figure 20: Mesure des densités des bétons frais

Dans la formulation du béton (*annexe 7*), la densité théorique calculée est de 2,43 t/m³, nous remarquons que dans les mêmes conditions d'essais les densités des bétons frais sont quasiment les mêmes. Les densités réelles des bétons en œuvre sont inférieures à la densité théorique calculée, ainsi pour composer un béton dont les caractéristiques sont celles souhaitées des mesures correctives s'imposent pour chaque type de ciments. Dans notre projet, comme nous menons une étude comparative des corrections n'ont pas été apportées aux densités.

b) Affaissement Sur Béton à l'état frais

Nous avons procédé également aux mesures des affaissements des bétons composés à partir des différents ciments. Ces mesures nous permis de tracer les histogrammes de la *figure 21*.

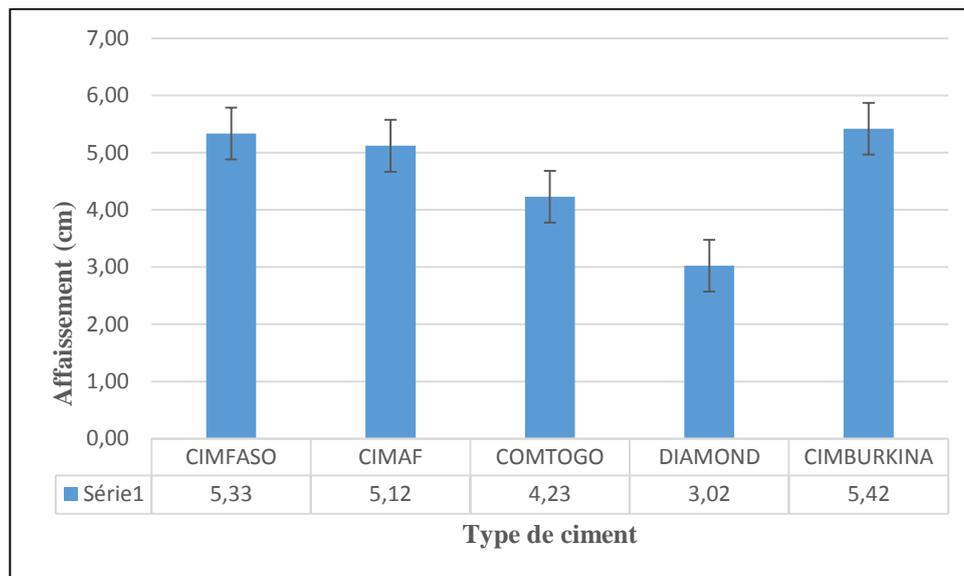


Figure 21: Mesures des affaissements sur les bétons frais

La perte de hauteur que nous avons constaté sur les mortiers des ciments n'est pas la même sur le béton, même si elle tend à respecter l'ordre qu'il y avait sur le mortier. L'ouvrabilité des bétons présentés à la *figure 21* montre que CIMFASO, CIMAF et CIMBURKINA sont plus ouvrables que CIMTOGO, tandis que DIAMOND est plus ferme que tous les autres ciments. . Nous expliquons cette perte de hauteur par la présence des gros granulats dans le squelette granulaire du béton, mais aussi de la fluidité que chaque type de ciment a dans le mécanisme du béton.

IV.2 BETONS ET MORTIERS A L'ETAT DURCIS

IV.1.1 MORTIERS A L'ETAT DURCIS

a) Porosité

La porosité est caractérisée par la présence des pores ou des de petits trous dans un matériau. Pour le béton et le mortier, la porosité a une influence considérable sur les résistances. La *figure 22* nous présente l'évolution de la porosité lors des cures normalisées des éprouvettes de mortier.

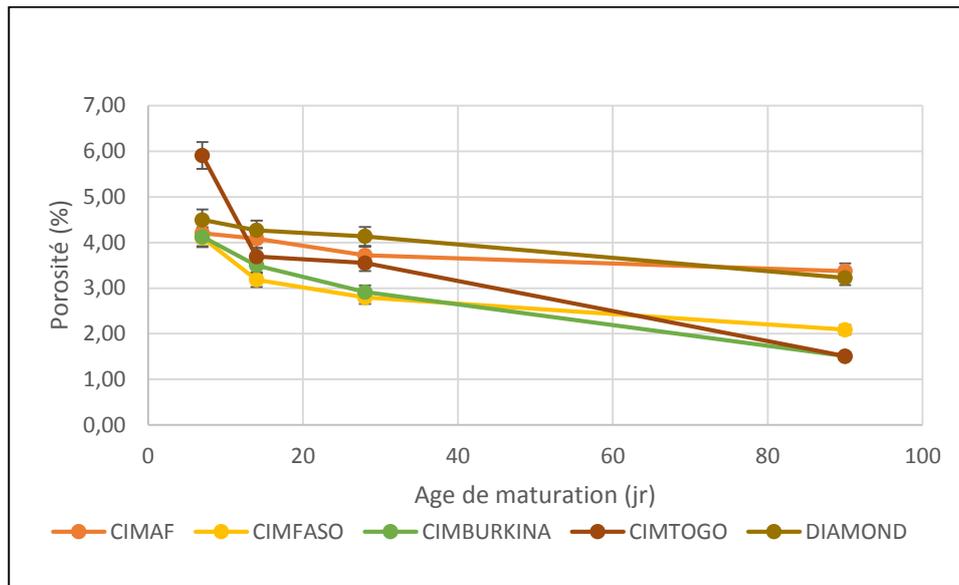


Figure 22: Evolution de la porosité en fonction de l'âge de maturation

L'évolution de la porosité sur nos éprouvettes va de façon décroissante pour les types de ciments étudiés. Cette décroissance décrit une densification des éprouvettes de mortier conservées dans l'eau au cours de leurs périodes de maturation. Ce constat, peut nous permettre d'avoir une idée sur l'évolution des résistances (en flexion et en compression) de nos éprouvettes. Aux premiers âges nous constatons que CIMTOGO est plus poreux que tous les autres types de ciments, mais jusqu'à 90 jours il a pratiquement la même porosité que CIMBURKINA (plus faible porosité). Nous notons pour les éprouvettes de CIMFASO une diminution considérable de porosité, tandis que la porosité constatée sur les éprouvettes de DIAMOND et de CIMAF est considérable, même à long terme.

b) Flexion et compression

Les résistances en flexion et en compression, sont les caractéristiques essentielles recherchées sur les éprouvettes de mortier. Les essais sur les éprouvettes de mortier des différents types de ciments étudiés nous ont permis de tracer les courbes de la *figure 23* et de la *figure 24* présentées ci-dessous.

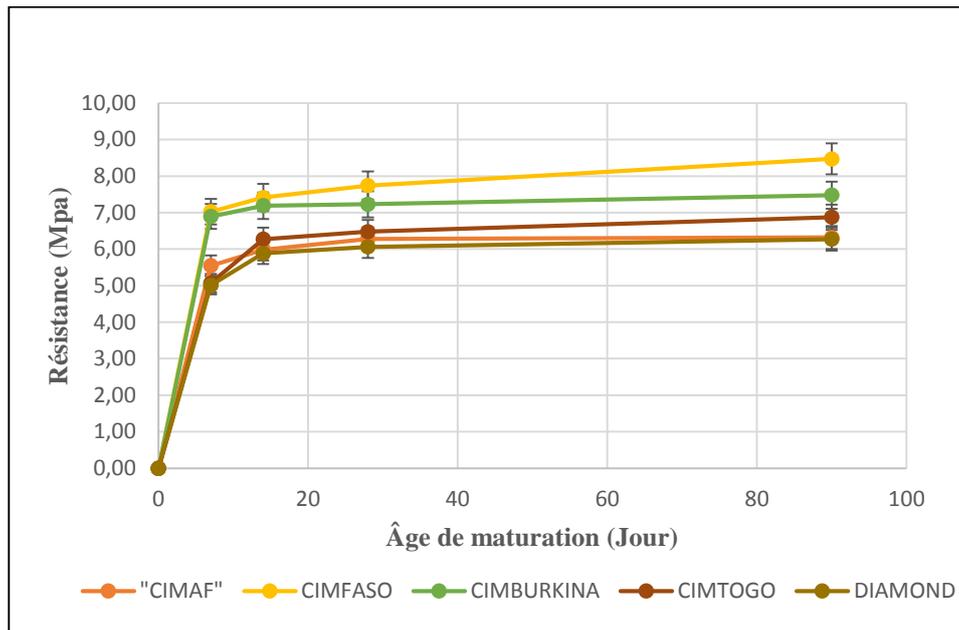


Figure 23: Résistance en flexion entre 0 et 90 jours

La *figure 23* nous présente la résistance en flexion des ciments étudiés entre 0 et 90 jours. Nous constatons bien que cette croissance était déjà prévisible à partir des résultats obtenus de la porosité. CIMFASO est sur cette figure, le ciment qui a la meilleure résistance en flexion à tous les âges de maturation. CIMBURKINA a aussi une bonne résistance en flexion, suivit de CIMTOGO dont la courbe de variation est quasiment semblable à celle de CIMBURKINA. Les autres ciments, CIMAF et DIAMOND, ont des résistances moins bonnes par rapport aux autres ciments. Il faut aussi dire que les courbes représentatives de CIMAF et DIAMOND ont quasiment la même pente.

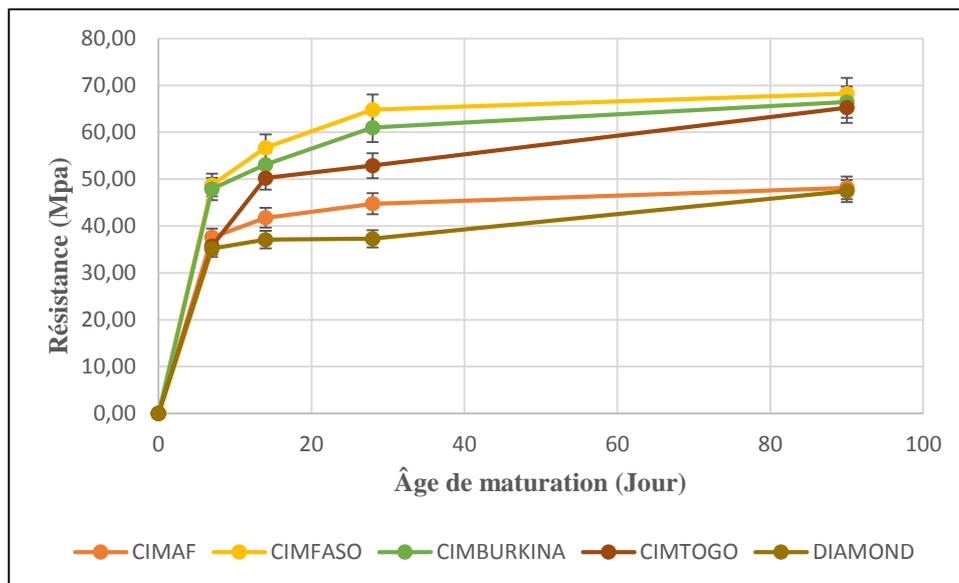


Figure 24: Résistance en compression entre 0 et 90 jours

L'évolution de la résistance en compression suit le même ordre que la résistance en flexion.

Nous remarquons que tous les types de ciments qui ont présenté une bonne résistance en flexion à la *figure 24*, ont aussi une très résistance en compression. Notons ici que CIMFASO est le ciment qui présente les meilleures résistances en flexion et en compression.

IV.2.2 BETONS A L'ETAT DURCIS

a) Masse volumique du béton semi-humide

La masse volumique définie la masse d'un corps par unité de volume. Des mesures de masses volumiques ont été effectuées sur toutes les éprouvettes de béton au cours de la période des cures. Le graphe de la *figure 25* nous donne une idée sur l'évolution des masses volumiques.

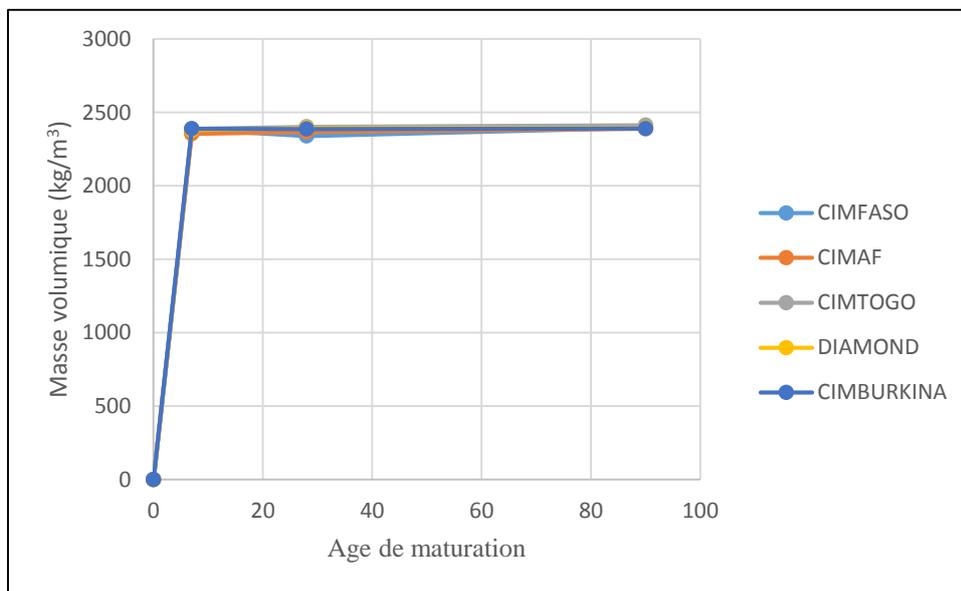


Figure 25: Evolution de la masse volumique des bétons à l'état durcis

Les bétons que nous avons étudiés sont tous des bétons à masses volumiques normales, parce qu'ils ont toutes les masses volumique comprises entre 2000 et 2600Kg/m³. Nous remarquons que, au fur et à mesure des âges de maturation, les masses volumiques croissent. La croissance des masses volumiques est la conséquence de la saturation des éprouvettes immergées dans le bassin de maturation. Nous pouvons aussi prédire à partir des masses volumiques la croissance des résistances aux différents âges.

b) Compression du béton

La résistance à la compression sur les éprouvettes de béton est la caractéristique la plus recherchée d'un béton. Elle permet de déterminer la valeur caractéristique des résistances des béton, la *figure 26* présente l'évolution des résistances en compression des éprouvettes de béton entre 7 et 90 jours.

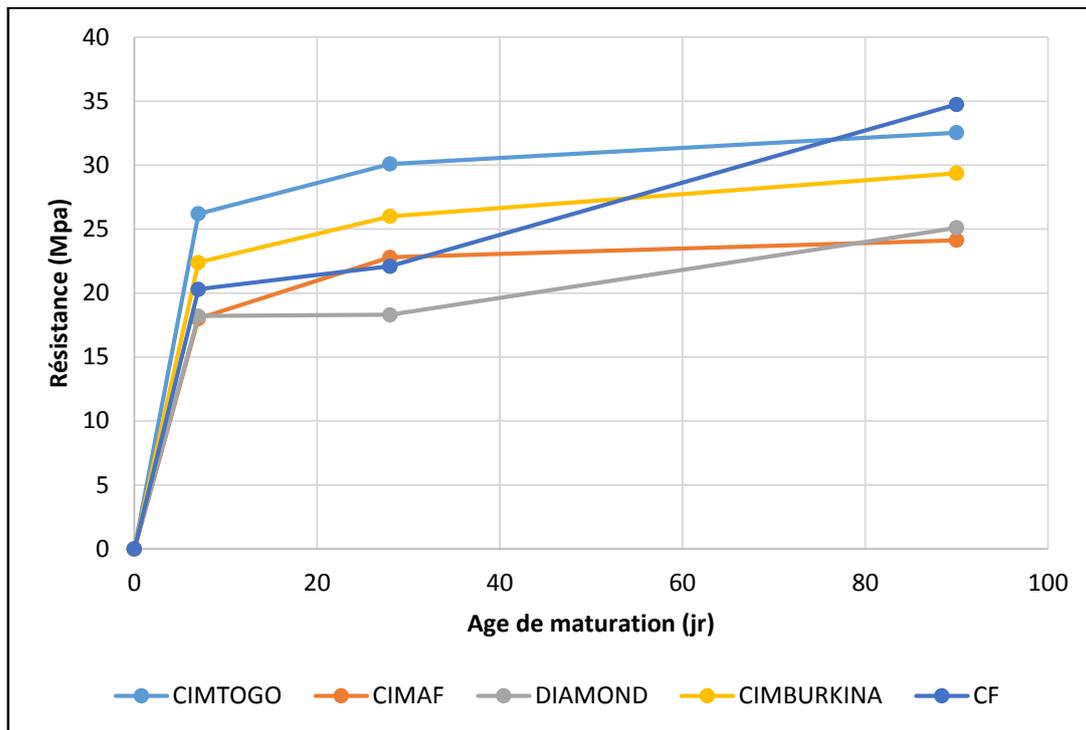


Figure 26: Evolution de la résistance en compression sur les éprouvettes de béton

Nous constatons sur la *figure 26* que les résistances en compression des bétons sont conformes aux masses volumiques que nous avons discutées à la *figure 25*. Nous remarquons sur cette figure que la résistance en compression est élevée sur les éprouvettes de CIMTOGO et CIMBURKINA entre 7 et 28 jours. CIMAF a une résistance qui est égale à celle de DIMOND à 7 jours, mais à 28 jours sa résistance est plus grande que celle de DIAMOND, qui cependant est quasiment égale à la résistance à 7 jours. La résistance sur les éprouvettes de CIMAFASO à 7 jours est supérieure à celles de DIAMOND et CIMAF, mais à 28 jours la valeur de la résistance de CIMAF dépasse celle de CIMFASO. De façon générale, nous constatons que la croissance des résistances aux premiers âges est accélérée et elle diminue au fur et à mesure des âges de maturation des éprouvettes. Après une cure de 90 jours, nous remarquons que CIMFFASO atteint une résistance de 34,8 Mpa et CIMTOGO de 32 Mpa. Les hydrates libérés par CIMFASO et CIMTOGO contribuent favorablement aux résistances à long terme.

IV.3 ETUDE COMPARATIVE ET CANEVAS D'ELABORATION DE LA FICHE TECHNIQUE

IV.3.1 ETUDE COMPARATIVE

L'étude comparative que nous mènerons ne s'articulera que sur les caractéristiques mécaniques des différents types de ciments étudiés. Ces caractéristiques mécaniques sont entre autres les résistances en flexion déterminées sur les éprouvettes de mortiers (4*4*16) et les résistances en compression effectuées notamment sur les éprouvettes de mortiers (4*4*16) et de béton

(16*32).

La résistance en flexion d'un ciment permet de déterminer l'aptitude de ce ciment en traction. Dans le but de déterminer ces résistances, des essais de flexion ont été effectués sur les éprouvette de mortiers. Cinq types de ciments ont été étudiés, les résistances mesurées sur ces ciments nous permis de les classer suivant les valeurs des résistances atteintes. Ils sont classés comme suit : *CIMFASO*, *CIMBURKINA*, *CIMTOGO*, *CIMAF* et *DIAMOND* (figure24).

La résistance en compression, permet également de déterminer l'aptitude d'un ciment à résister à la compression. A cet effet les demi-éprouvettes issues des essais de flexion ont été rompues en compression. Les résistances en compression calculées à la fin de ces essais nous ont aussi permis de classer suivant les valeurs de résistances. En tenant des comptes des résistances atteintes par chaque ciment, l'ordre de classement en compression et le même qu'en flexion, c'est-à-dire : *CIMFASO*, *CIMBURKINA*, *CIMTOGO*, *CIMAF* et *DIAMOND* (figure25).

Les résistances en compression ont été également calculées sur les éprouvettes de bétons, ces dernières nous ont permis de comprendre aussi les aptitudes de chaque ciment en compression. En compression sur le béton après 90 jours de cure normalisée le classement est le suivant : *CIMFASO*, *CIMTOGO*, *CIMBURKINA*, *CIMAF* et *DIAMOND* (figure26).

Les compressions sur les éprouvettes de bétons nous ont permis de classer suivant les valeurs des résistances les ciments ayant des bonnes résistances en compression.

Nous voudrions dire que ces valeurs sont les conséquences logiques de la finesse de mouture. Selon (Jean FESTA, 1998), plus la finesse de mouture est grande, plus les résistances aux jeunes âges sont élevées. Il faut aussi signaler à ce niveau que les résistances aux premiers âges ne sont pas seulement dues à la finesse de mouture, mais aussi la quantité de chaleur libérée par le C_3S au cours la réaction d'hydratation est aussi responsable des résistances élevées aux premiers âges (Jean FESTA, 1998). Le C_3S et la finesse de monture ne sont pas seulement les deux agents responsables des résistances aux jeunes âges mais le C_3A également, il contribue fortement aux résistances à ces âges (Jean FESTA, 1998). Le C_3S et le C_3A , sont les éléments faisant partie des quatre phases du clinker ; donc nous soulignons sous forme de remarque la qualité des clinkers utilisée par les différentes usines. Eu égard de tout cela nous disons que les clinkers utilisés par CIMTOGO et CIMBURKINA sont de bonne qualité de même que CIMFASO. Par contre en densité spécifique nous remarquons que DIAMOND a la plus grande densité, nous pouvons donc conclure qu'il y a un pourcentage élevé d'oxyde de fer. Cela peut s'expliquer par

une importante présence d'argile dans la composition du ciment. Nous notons également la présence de cette argile dans la composition de CIMAF et CIMFASO.

Tableau 12: comparaison des résistances (en compression mesurées sur mortier normalisé) à différentes échéances d'une chaux hydraulique de qualité et deux ciments Portland (Granju, Octobre 2011)

Résistance en compression	A 2 jours	A 7 jours	A 28 jours	A 90 jours	Plusieurs années
Chaux hydraulique	≈ 0,5MPa	≈ 1MPa	≈ 2 à 3MPa	≈ 3 à 5MPa	5 à 10MPa
Ciment portland pour utilisation en maçonnerie	≈ 10MPa	≈ 25MPa	≈ 35MPa	≈ 40MPa	≈ 40MPa
Ciment portland pour utilisation en structure	≈ 18MPa	≈ 40MPa	≈ 55MPa	≈ 60MPa	≈ 60MPa

Tableau 13: Résistances des différents types de ciments

Ages de maturation	Résistance en Mpa				
	CIMAF	CIMFASO	CIMBURKINA	CIMTOGO	DIAMOND
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	37.60	48.74	47.92	35.71	35.18
14	41.77	56.69	53.11	50.24	37.09
28	44.75	64.81	60.98	52.89	37.28
90	48.14	68.20	66.43	65.26	47.46

En comparant les résultats obtenus (tableau 13) aux valeurs du tableau 12, nous pouvons dire que tous les types de ciments étudiés peuvent tous, être utilisés en maçonnerie. Les types de ciment à utiliser dans les structures sont les ciments ayant atteints une résistance caractéristique à 90 jours, sur éprouvette soumise à la compression de 60 Mpa. A cet effet nous notons que certains types de ciment étudiés n'ont pas pu atteindre cette résistance caractéristique à la date prévue, ce sont CIMAF et DIAMOND. Par contre les ciments ayant atteints cette résistance et capable de résister en structures sont : CIMFASO, CIMBURKINA et CIMTOGO.

IV.3.2 CANEVAS D'ELABORATION DE LA FICHE TECHNIQUE

Le canevas est établi pour donner une idée générale sur les parties constituant de la fiche technique. Les parties constituant de la fiche sont expliquées dans le canevas afin de faciliter la lecture et l'élaboration des fiches techniques. Voici présentés comme suit le canevas d'élaboration de la fiche technique.

CANEVAS D'ELABORATION DE FICHE TECHNIQUE

PRESENTATION DU PRODUIT

- **Provenance du produit**

Cette partie définit le produit en termes d'usine de fabrication ou appellation commerciale du produit

- **Type de produit**

Il s'agit ici de préciser le type de produit suivant les cinq types de ciments connus et si possible le classé même dans les 27 ciments courants

- **Classe commerciale et classe de résistance**

Nous précisons dans cette sous partie les classes commerciales et de résistance du ciment étudié

CARACTERISTIQUES DU PRODUIT

- **Caractéristiques physiques**

Les résultats de tous les essais physiques effectués sur le ciment étudié seront présentés

- **Caractéristiques mécaniques**

Les résultats de tous les essais mécaniques effectués sur le ciment étudié seront présentés dans cette partie

DOMAINES D'APPLICATION

- **Zones**

Nous précisons ici si le type de ciment étudié est utilisable dans les zones humides ou dans les zones chaudes

- **Mortiers**

Nous précisons dans cette partie l'aptitude du ciment à être utilisé dans le mortier ou pas

- **Béton**

Nous précisons aussi la possibilité d'utilisation du type de ciment dans le béton ou non

- **Béton armé**

L'utilisation d'un type de ciment en béton armé nécessite un certain nombre de qualité sur le ciment, c'est pourquoi nous précisons ici la capacité du ciment à être utilisé dans le B.A.

ORIENTATIONS

Nous proposons de donner dans cette partie les conseils et orientations qui pourront aider à mieux utiliser un type de ciment. Ces orientations partiront d'abord de la qualité du ciment produit et aussi de la destination finale de ce dernier (zone, ouvrage...)

CONCLUSION GENERALE

Notre étude avait pour but de déterminer les caractéristiques mécaniques des différents types de ciments utilisés au Burkina Faso. Plusieurs essais ont été effectués à cet effet, notamment les essais de compressions sur les bétons des ciments et les essais de flexions – compressions sur les éprouvettes de mortiers normaux.

Il faut aussi noter qu'un adjuvant était ajouté à la formulation des mortiers pour améliorer son ouvrabilité.

Les éprouvettes issues des différentes formulations ont été immergées soit dans un bassin de maturation, soit stockées dans un locale de conservation spécialement aménagés à cet effet. Aux dates convenables elles étaient rompues en flexion (mortier) et en compression (béton et mortier).

Les résultats des différents essais (flexions et compressions) nous ont permis d'apprécier les types de ciments étudiés. On peut citer par exemple les valeurs des résistances en compression sur les éprouvettes de mortier à 90 jours de CIMFASO (68,20 Mpa) ; de CIMTOGO (65,26Mpa) ; de CIMBURKINA (66,43 Mpa) ; CIMAF (48,14 Mpa) et de DIAMOND (47,46 Mpa) qui nous ont permis de déterminer leurs aptitudes à être utilisés en maçonnerie ou en structures.

A la fin de notre étude, un canevas d'élaboration d'une fiche technique était proposé, lequel nous a permis de mettre en place les différentes fiches techniques.

En fin, les résultats présentés dans notre document ne sont pas exhaustifs. Ils donnent une idée générale sur les différents types de ciments en flexion et compression. Il faut aussi souligner que nous n'avons pas pu établir les compositions chimiques de chaque ciment, ce qui nous aurait été utile dans les discussions et analyses des résultats. Pour parfaire cette étude nous proposons qu'une composition chimique et minéralogique de chaque ciment soit déterminée.

Pour finir, dans le souci d'assurer la survie des usines nous proposons d'une part aux différents producteurs d'assurer le suivi des ciments à la sortie des usines jusqu'aux consommateurs et d'autres parts de sensibiliser les usagers sur les conditions d'utilisation des ciments produits. Le gouvernement doit aussi veiller aux respects et aux différentes prescriptions de fabrications de ciments dans les différentes usines, afin que le produit mis sur le marché correspondent bien aux normes prévues.

BIBLIOGRAPHIE

- Béton et constituants du béton - tome1 - bétons et adjuvants . (s.d.).
- CIMBETON. (2005, Septembre). Les constituants des bétons et des mortiers . *Fiches techniques Tome 1* .
- Fabbris, F. (2013, Mai/juin). La rhéologie du béton . *Connaissances fondamentales - Laoratoire de la matière*.
- Fiche technique Holcim. (s.d.).
- Granju, J. -L. (Octobre 2011). *Béton armé théorie et applications selon l'Eurocode 2*.
- Hallal .A, E. .. (2011, Novembre 23 - 25). *Fluidité des coulis de ciments composés avec additions minérales locaux en fonction des superplastifiants de granitex*.
- Jean FESTA, G. D. (1998). *Nouveau guide du béton et de ses constituants*. EYROLLES.
- Norme EN 196 - 1: méthodes d'essais de ciments-Partie1: détermination des résistances mécaniques. (s.d.).
- Norme NF P 15 - 431: liants hydrauliques-technique des essais-détermination du temps de prise. (s.d.).
- Norme NF P 15 437: Liants hydrauliques-technique des essais-caractérisation des ciments par mesure de la fluidité. (s.d.).
- Norme NF P 18 - 356: Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis- détermination du temps de prise sur mortier. (s.d.).
- Norme NF P 18 - 452: Béton-mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au maniabilimètre. (s.d.).
- Norme NF P EN 197 - 1: Ciments Partie1: composition, spécification et critère de conformité de ciment courant. (s.d.).
- R. Dupain, R. L. (1995). *Granulats, sols, ciments, et bétons*. CASTEILLA .

ANNEXES

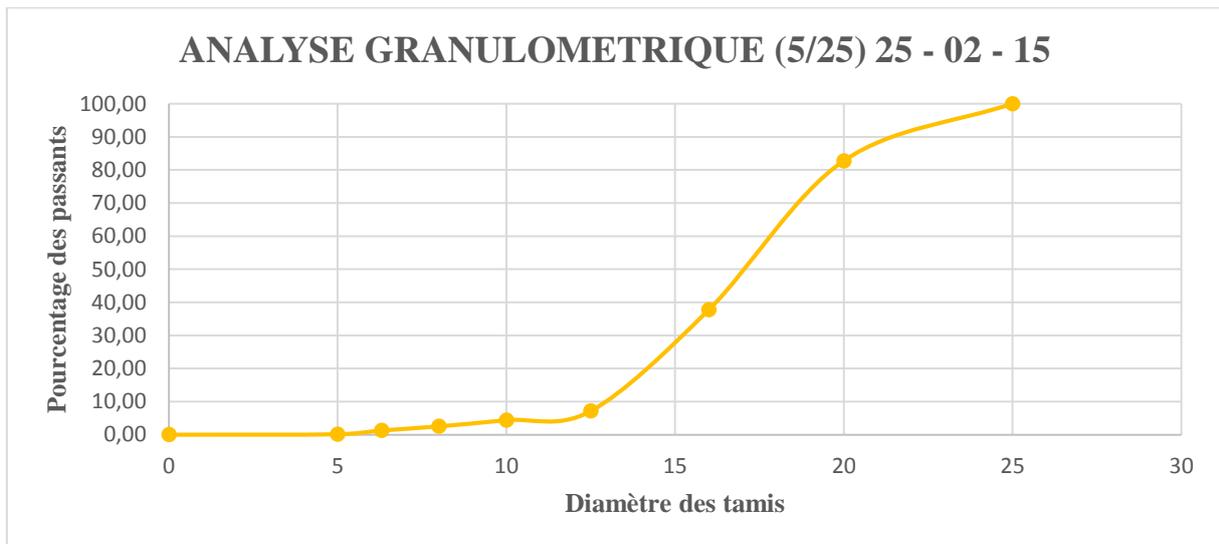
ANNEXE I : DIFFERENTS TYPES DE CIMENTS UTILISES AU BURKINA FASO

Désignation	CIMTOGO	CIMBURKINA	CIMFASO	CIMAF	DIAMOND
Emballage					
Prix	6250 FCFA	6250 FCFA	6250 FCFA	6250 FCFA	6250 FCFA

ANNEXE II : ANALYSES GRANULOMETRIQUES

A) ANALYSE GRANULOMETRIQUE GRAVIER

GRANULATS 5/25			
MASSE DE L'ECHANTILLON M = 4457.80g			
Tamis	refus cumulés	%refus cumulés	%Passants cumulés
0	4457	99.98	0.02
5	4451.12	99.85	0.15
6.3	4400.08	98.71	1.29
8	4344.92	97.47	2.53
10	4260.8	95.58	4.42
12.5	4139.06	92.85	7.15
16	2774.33	62.24	37.76
20	769.46	17.26	82.74
25	0	0.00	100.00



D60	18	Cu	1.36
D30	15.1	Cc	0.96
D10	13.25		

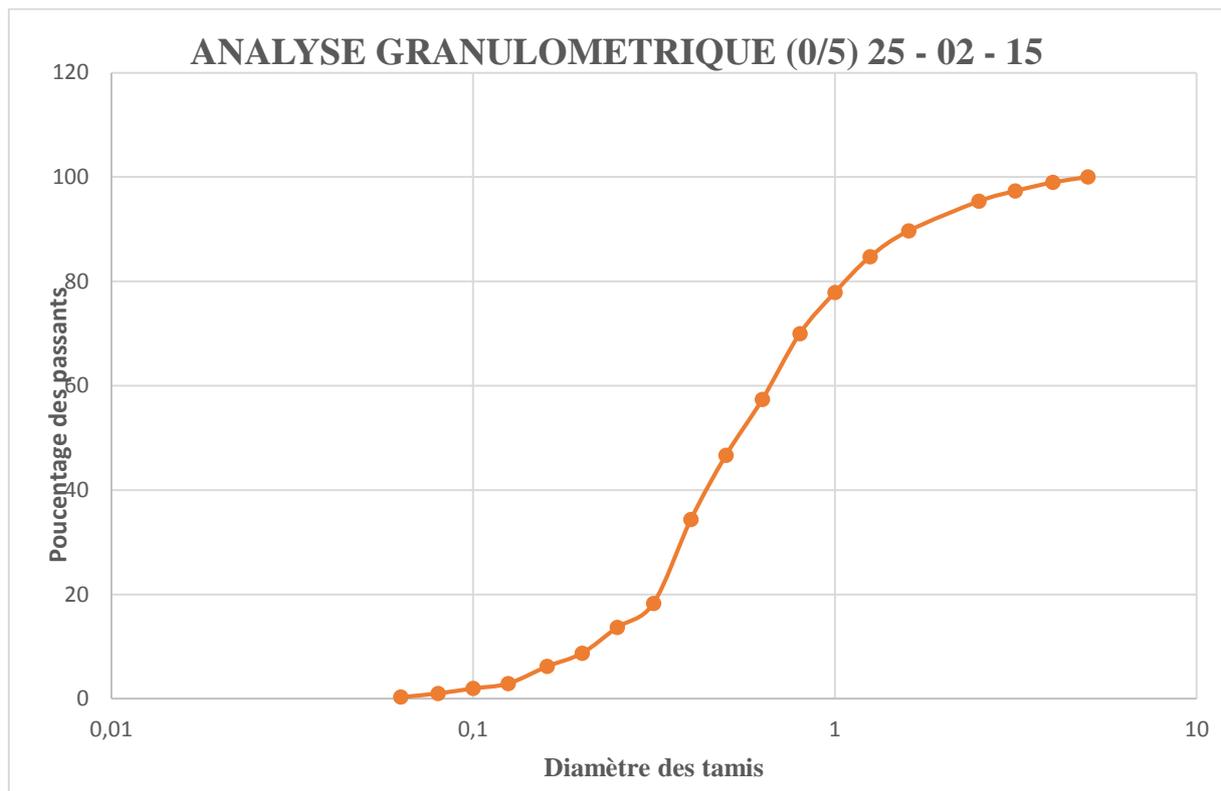
ANNEXE II : ANALYSES GRANULOMETRIQUES

B) ANALYSE GRANULOMETRIQUE SABLE

ANALYSE GRANULOMETRIQUE SABLE (0/5) 25 - 02 - 15

Méchantillon= 2119.35g

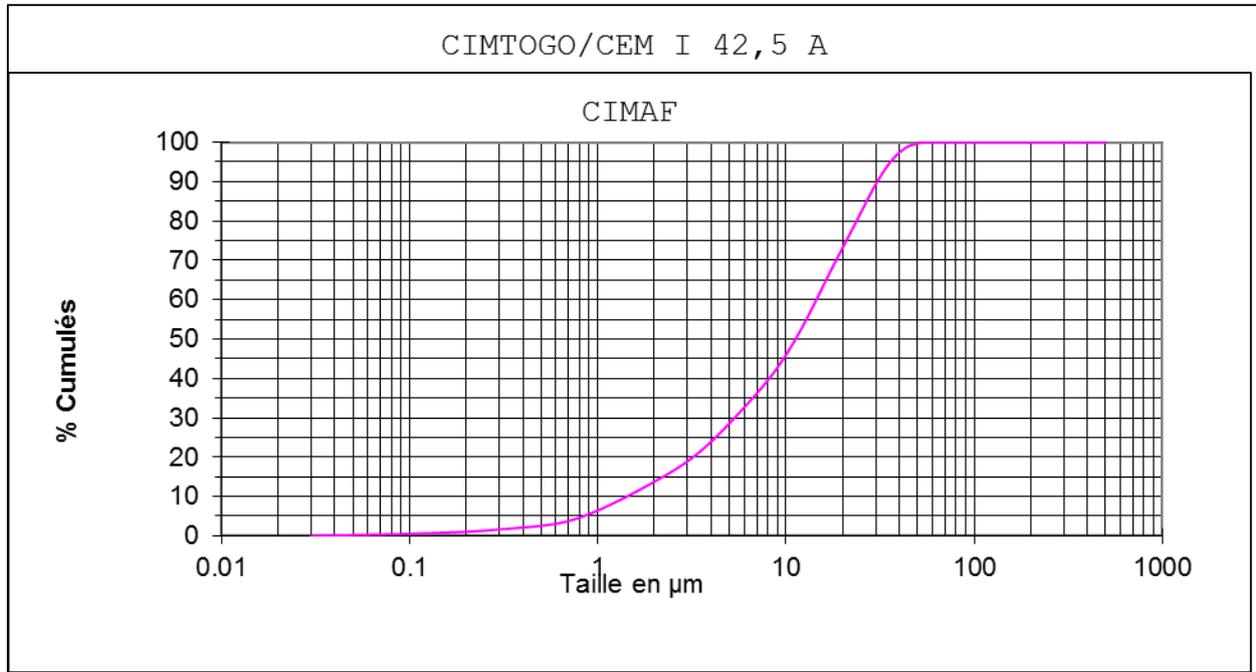
Tamis	Refus cumulés	%Refus cumulés	%Passants cumulés
5	0	0	100
4	21.68	1.02	98.98
3.15	56.56	2.67	97.33
2.5	98.4	4.64	95.36
1.6	218.6	10.31	89.69
1.25	323.87	15.28	84.72
1	468.68	22.11	77.89
0.8	636.04	30.01	69.99
0.63	903.64	42.64	57.36
0.5	1130.18	53.33	46.67
0.4	1391.4	65.65	34.35
0.315	1731.9	81.72	18.28
0.25	1829.87	86.34	13.66
0.2	1934.26	91.27	8.73
0.16	1988.4	93.82	6.18
0.125	2057.55	97.08	2.92
0.1	2077.15	98.01	1.99
0.08	2097.45	98.97	1.03
0	2112.79	99.69	0.31



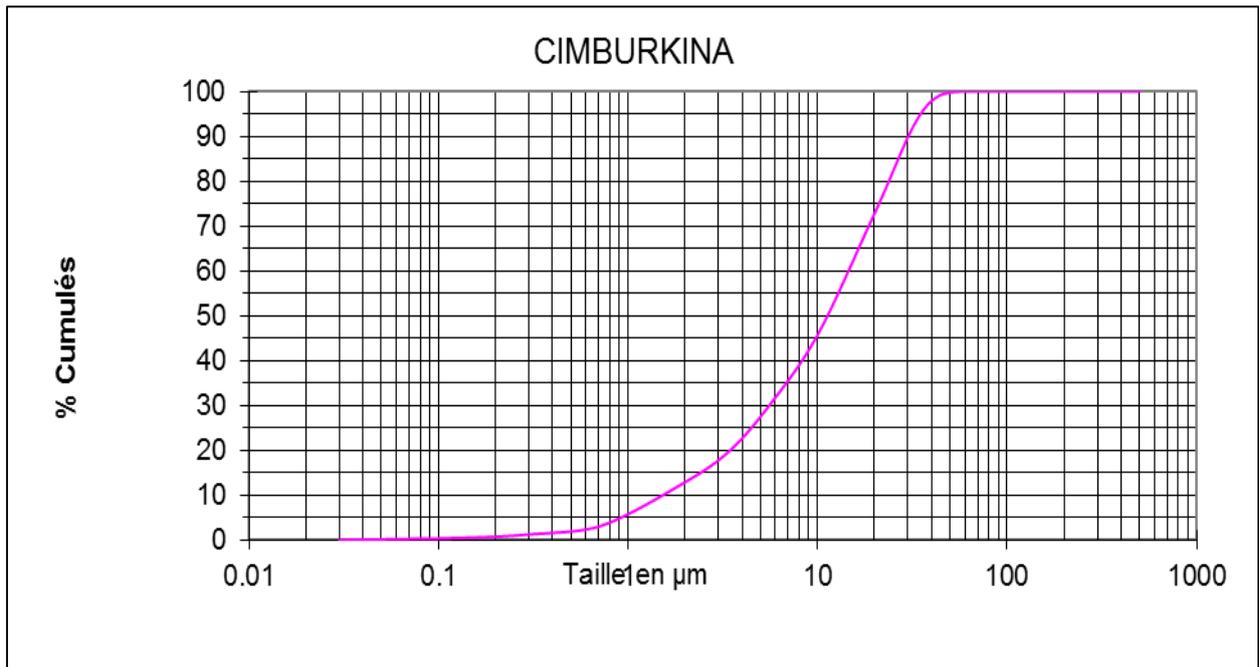
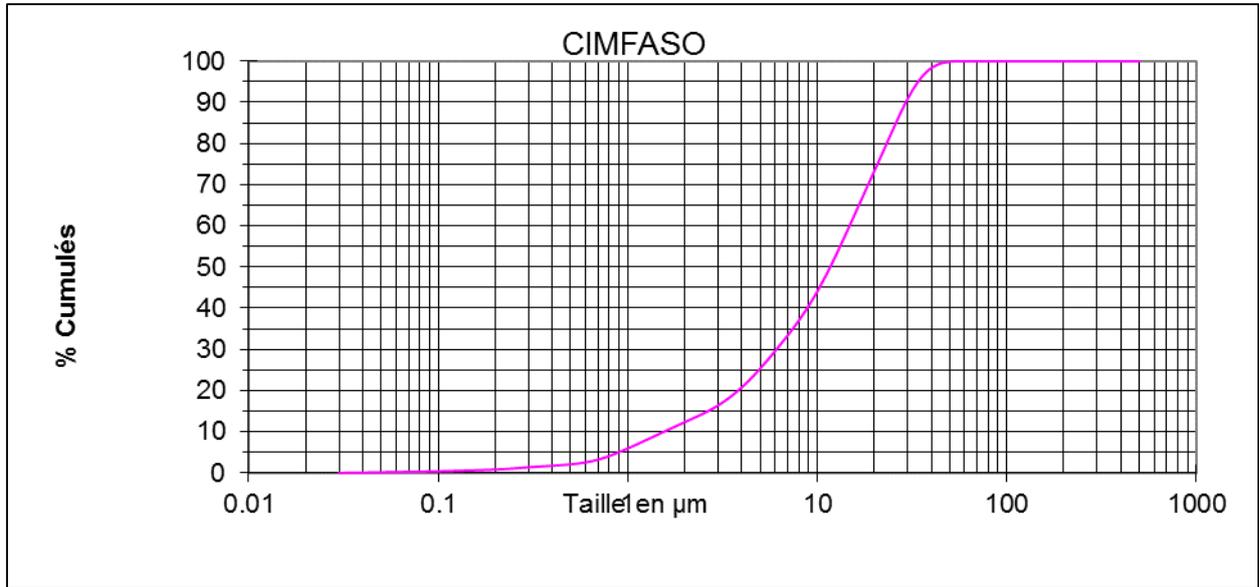
D60	0.65	CU	2.83
D10	0.23	CC	2.17
D30	0.57		
MdF	2.4		

ANNEXE II : ANALYSES GRANULOMETRIQUES

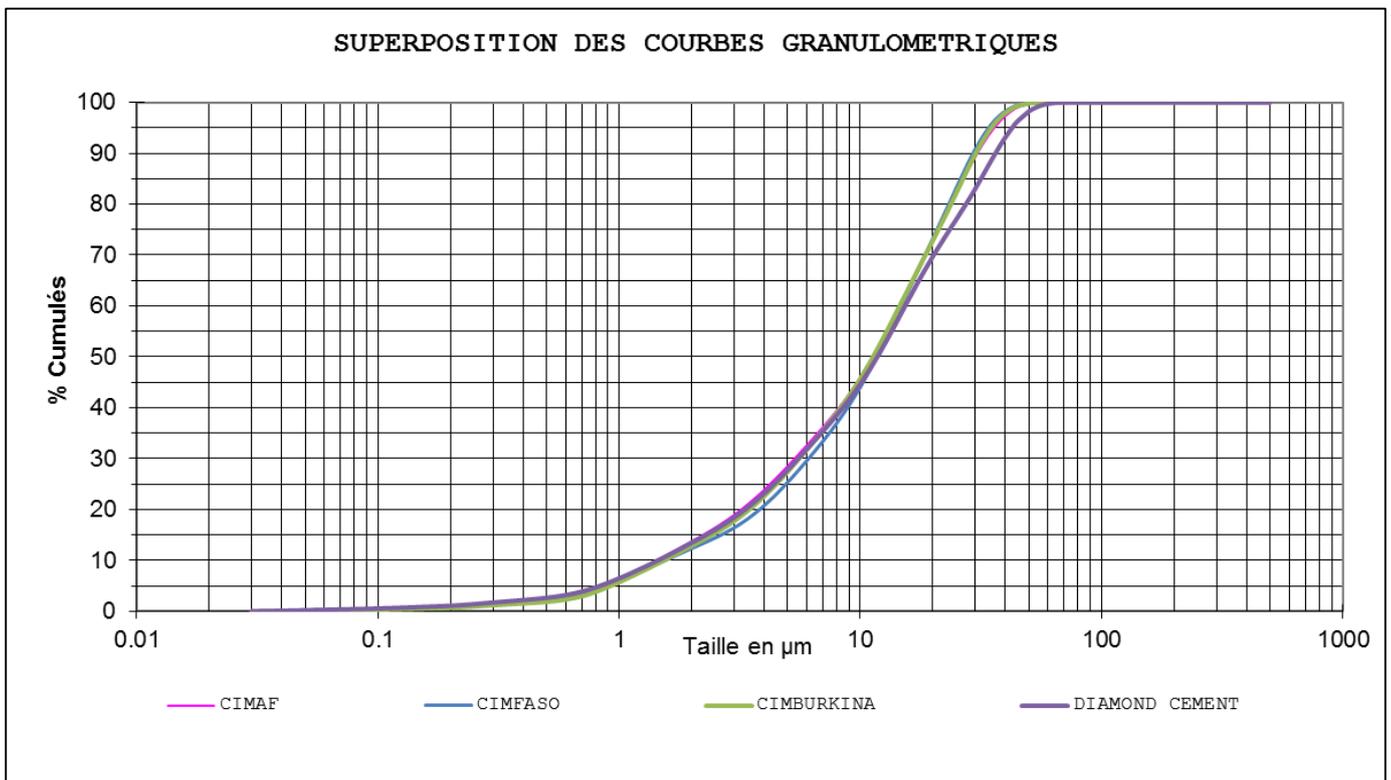
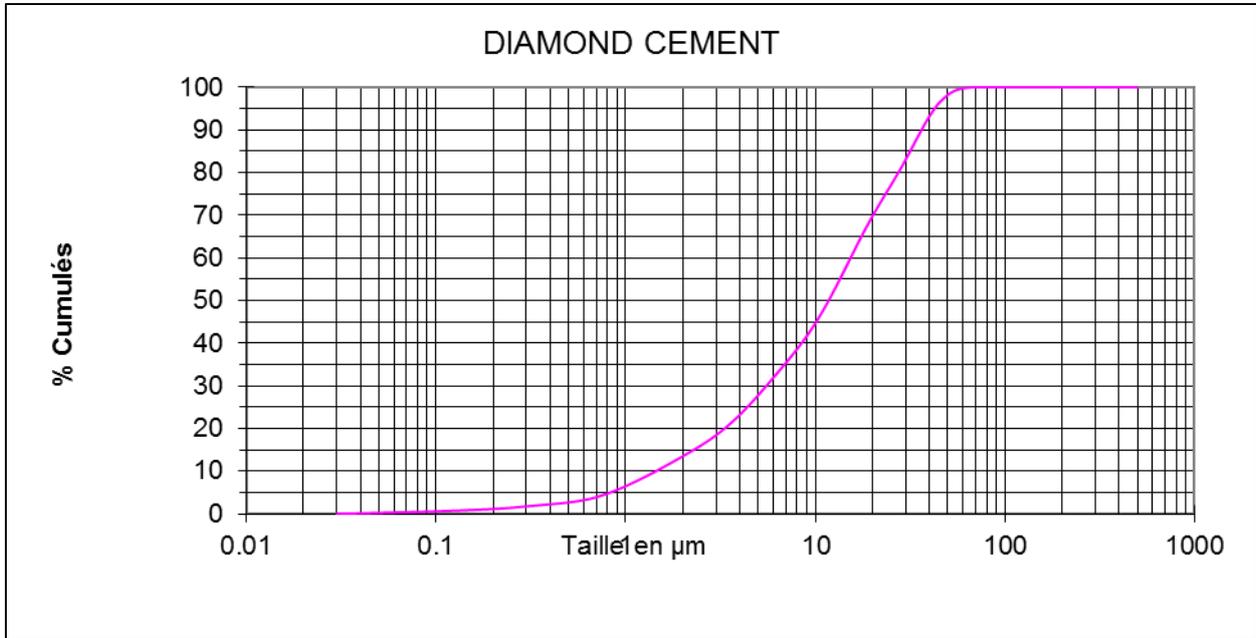
COURBES GRANULOMETRIQUES DES CIMENTS ETUDIES



ANNEXE II : ANALYSES GRANULOMETRIQUES



ANNEXE II : ANALYSES GRANULOMETRIQUES



ANNEXE III : EQUIVALENT DE SABLE

A) EQUIVALENT DE SABLE LAVE

Echantillonnage		1	2
Masses (g)	Humide	120	120
	Sèche (g)	120	120
Teneur en eau		0.00	0.00
Hauteurs (cm)	Du flocculant h1	9.56	9.2
	A vue h2	9.51	9.15
	Au piston h2'	9.2	9.15
Equivalents de sable	A vue (ESV)	99.48	99.46
	Au piston (ESP)	96.23	99.46
Equivalents de sable moyens	A vue (ESV)	99	
	Au piston (ESP)	98	

B) EQUIVALENT DE SABLE NON LAVE

Echantillonnage		1	2
Masses (g)	Humide	120	120
	Sèche (g)	120	120
Teneur en eau		0.00	0.00
Hauteurs (cm)	Du flocculant h1	10.4	10.65
	A vue h2	8.65	9.3
	Au piston h2'	7.85	8.35
Equivalents de sable	A vue (ESV)	83.17	87.32
	Au piston (ESP)	75.48	78.40
Equivalents de sable moyens	A vue (ESV)	85	
	Au piston (ESP)	77	

ANNEXE IV : RESISTANCE A LA FRAGMENTATION

Préparation de l'échantillon	Classes granulaires	4/6.3	6.3/10	10./25
	Nombre de boulets	7	9	11
Masse totale charges de boulets	3080g	3960g	4840g	
Masse prélevée	5000	5000	5000	
Nombre de tours programmés	500	500	500	
Mesures	Masse du refus sec m (g)	3494.62	3219.11	3943.1
	Masse de passants P (g)	1505.38	1780.89	1056.9
	Coefficients Los Angeles (LA)	30.11	35.62	21.14

ANNEXE IV : MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

Désignation	1er essai	2ème essai	3ème essai	Moyenne	Densité (kg/m ³)	Densité (t/m ³)
CIMTOGO	1295.48	1295.42	1296.46	1295.79	982.32	0.98
DIAMOND	1373.51	1380.36	1384.84	1379.57	1066.1	1.07
CIMBURKINA	1352.39	1349.75	1341.95	1348.03	1034.56	1.03
CIMFASO	1340.08	1346.4	1336.01	1340.83	1027.36	1.03
CIMAF	1286.71	1284.88	1303.81	1291.8	978.33	0.98

ANNEXE VI : DENSISTE SPECIFIQUE

Désignation	Poids matériaux mis dans la cuve (g)	Volume d'eau distillé ajouté (cm ³)	Pression finale (P') cuve échantillon +chambres (mWs)				Valeur Vlu	Ys (KN/m ³)
			1ère essai	2ème essai	3ème essai	P' moyenne (mWs)		
Gravier	796.93	494.91	10.8	10.75	10.75	10.77	789.70	2.70
Sable	746.6	314.06	7.7	7.8	7.8	7.77	601.26	2.60
CIMTOGO	706.31	339.25	7.35	7.3	7.35	7.33	559.28	3.21
DIAMOND	735.64	330.44	7.25	7.35	7.25	7.28	554.07	3.29
CIMBURKINA	672	345.5	7.35	7.25	7.25	7.28	554.07	3.22
CIMFASO	669.61	407.92	7.9	7.85	7.92	7.89	612.24	3.28
CIMAF	754.29	358.79	7.65	7.6	7.68	7.64	589.87	3.26

ANNEXE VI : FORMULATION DE BETON
FORMULATION DE BETON : METHODE COMPLETE

HYPOTHESES DE CALCUL

- Résistance souhaitée à 28 jours $f_{c_{28}} = 25 \text{ Mpa}$
- Affaissement au cône d'abrams $A_{ff} = 5 \text{ cm}$
- Coefficient granulaire $G = 0,5$
- Ciment utilisé CPA 45, la classe vraie vaut $F_{CE} = 45 \text{ Mpa}$
- Masses volumiques $\left\{ \begin{array}{l} \text{Gravier } \rho_g = 2,7 \text{ kg/l} \\ \text{Sable } \rho_s = 2,6 \text{ kg/l} \\ \text{Eau } \rho_e = 1,0 \text{ kg/l} \end{array} \right.$
- Diamètre maximal des granulats $D_{max} = 20 \text{ mm}$

- ✓ Dosage minimale en ciment
Milieu non exposé

$$C_{min} = \frac{250 + 10 f_{c_{28}}}{\sqrt[5]{1,25 D_{max}}} = \frac{250 + 10 * 25}{\sqrt[5]{(1,25 * 20)}} = 262,65 \text{ kg/m}^3$$

- ✓ Détermination du rapport E/C

$$f_{c_{28}} = G F_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

Avec une majoration de 15% nous aurons $f_{c_{28}} = 25 + 0,15 * 25 = 28,75 \text{ Mpa}$

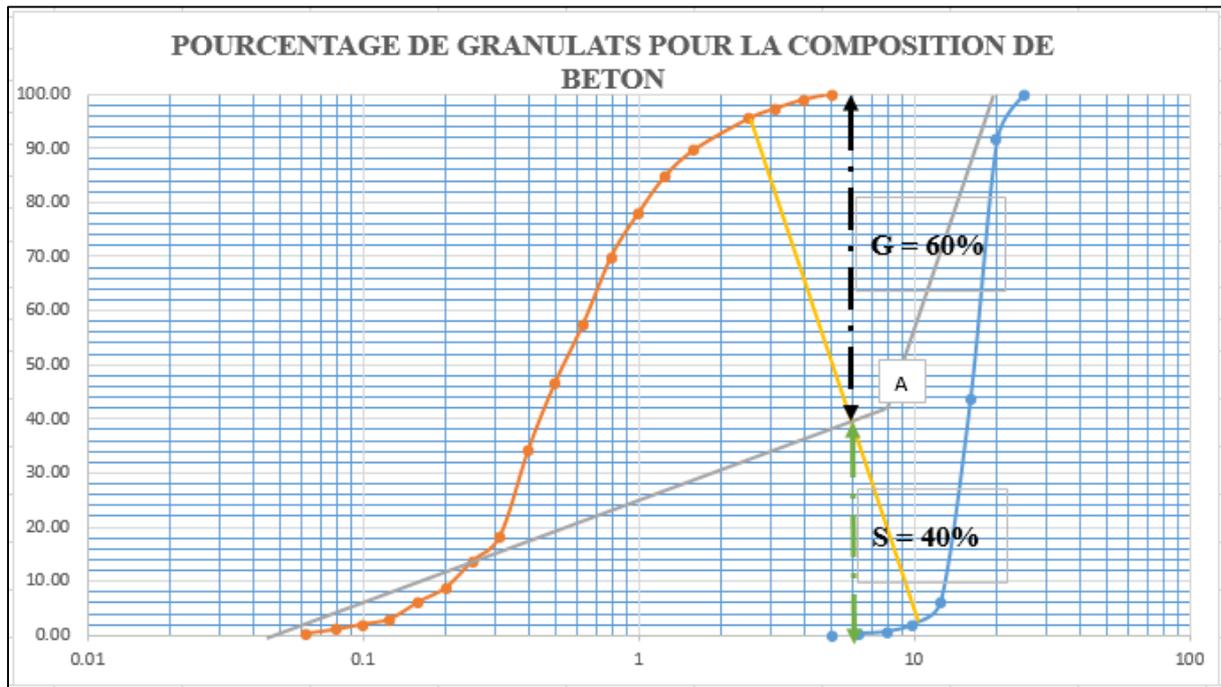
$$\frac{C}{E} = \frac{28,75}{0,5 * 45} + 0,5 = 1,78 \cong 1,8, \text{ donc nous avons } \frac{E}{C} = 0,56$$

Avec $\frac{C}{E} = 1,8$ on obtient un dosage optimal en ciment égal 350 kg/m^3 et la quantité d'eau optimale est $E = 0,56 * 350 = 196 \text{ kg}$

$D_{max} = 20 \text{ mm}$ L'abscisse du point de brisure A est égale à la moitié du D_{max}

$X_A = 10$ et $Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$, avec $K = 6 \text{ MF-15}$

$$A \left\{ \begin{array}{l} X_A = 10 \\ Y_A = 44,93 \end{array} \right.$$



Nous obtenons à partir de la courbe de référence les portions suivantes en sable et gravier.

Gravier = 60% et sable = 40%

✓ Dosage en granulat

Coefficient de compacité

Soit $\gamma = 0,837$ avec $\gamma = \frac{V_g + V_s + V_c}{1000}$ et $V_c = \frac{350}{3,15} = 111,111$

Soit $V = V_g + V_s$ le volume des granulats

$V = 1000\gamma - V_c$ donc $V = 837 - 111,11$

$V = 725,91$

$$V_g = 60\%V \text{ et } V_s = 40\%V$$

Donc $V_g = 435,54l$ et $V_s = 290,36l$

Ainsi nous obtenons les poids des granulats comme suit :

$$P_g = \rho_g V_g = 2700 * 0,43554 = 1175,96kg$$

$$P_s = \rho_s V_s = 2600 * 0,29036 = 754,94kg$$

Récapitulatif de la composition du béton

$$C = 350kg/m^3$$

$$G = 1175,96kg/m^3 = 1176kg/m^3$$

$$E = 196kg/m^3$$

$$S = 754,94kg/m^3 = 755kg/m^3$$

La masse volumique du béton est de :

$$\Delta_b = \frac{350 + 196 + 1175,96 + 754,94}{1000} = 2,48$$

$$\Delta_b = 2,43$$

ANNEXE VI : FICHE TECHNIQUE DES DIFFERENTS CIMENTS ETUDIES

LABORATOIRES ECO - MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS		LEMC/2iE		
FICHE TECHNIQUE CIMFASO				
PRESENTATION DU PRODUIT				
PROVENANCE DU PRODUIT		CIMENT ELEPHANT		
TYPE DE PRODUIT				
CLASSE COMMERCIALE ET CLASSE DE RESISTANCE				
		CEMI 42.5R		
		CPA 45		
CARACTERISTIQUES DU PRODUIT				
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
Masses volumiques	Apparente		1.03t/m³	
	Spécifique		3.28 t/m³	
Surface spécifique			0.9700m²/g	
Porosité sur mortier			2,80%	
Temps de prise			1h15 mn	
Densité sur béton			2.34t/m³	
CARACTERISTIQUES MECANIQUES				
Résistances	Sur éprouvette de mortier	C	28 jours	90 jours
		F	64.81Mpa	68.20Mpa
	Sur éprouvette de béton	C	7.74Mpa	8.47 Mpa
			22.1MPa	34.8MPa
DOMAINES D'APPLICATION				
Zones	Chaudes		OUI	
	Humide		NON	
Bon pour mortier			OUI	
Bon pour béton			OUI	
Bon pour béton armé			OUI	
ORIENTATIONS				
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> SELON LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER </div>				

ANNEXE VI : FICHE TECHNIQUE DES DIFFERENTS CIMENTS ETUDIES

LABORATOIRES ECO - MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS		LEMC/2iE		
FICHE TECHNIQUE CIMTOGO				
PRESENTATION DU PRODUIT				
PROVENANCE DU PRODUIT		CIMENT TORO		
TYPE DE PRODUIT				
CLASSE COMMERCIALE ET CLASSE DE RESISTANCE				
		CEMI		
		CPA 45		
CARACTERISTIQUES DU PRODUIT				
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
Masses volumiques	Apparente		0.98 t/m³	
	Spécifique		3.21 t/m³	
Surface spécifique			0.8882m²/g	
Porosité sur mortier			3,55%	
Temps de prise			1h30 mn	
Densité sur béton		2.40t/m³		
CARACTERISTIQUES MECANIQUES				
Résistances	Sur éprouvette de mortier	C	28 jours	90 jours
		F	52.89Mpa	65.26Mpa
	Sur éprouvette de béton	C	6.48Mpa	6.88Mpa
			30.1MPa	32.5MPa
DOMAINES D'APPLICATION				
Zones	Chaudes		OUI	
	Humide		NON	
Bon pour mortier			OUI	
Bon pour béton			OUI	
Bon pour béton armé			OUI	
ORIENTATIONS				
SELON LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER				

ANNEXE VI : FICHE TECHNIQUE DES DIFFERENTS CIMENTS ETUDIES

LABORATOIRES ECO - MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS		LEMC/2iE		
FICHE TECHNIQUE CIMBURKINA				
PRESENTATION DU PRODUIT				
PROVENANCE DU PRODUIT		CIMENT ETALON CEMII/A - L 42.5R CPA 45		
TYPE DE PRODUIT				
CLASSE COMMERCIALE ET CLASSE DE RESISTANCE				
CARACTERISTIQUES DU PRODUIT				
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
Masses volumiques	Apparente		1.03 t/m³	
	Spécifique		3.22 t/m³	
Surface spécifique			1.2653 m²/g	
Porosité sur mortier			2,80%	
Temps de prise			1h40 mn	
Densité sur béton		2.39t/m³		
CARACTERISTIQUES MECANIQUES				
Résistances	Sur éprouvette de mortier		28 jours	90 jours
	C	60.98Mpa	66.43 Mpa	
	F	7.23Mpa	7.48 Mpa	
Sur éprouvette de béton		C	26MPa	29.4MPa
DOMAINES D'APPLICATION				
Zones	Chaudes			OUI
	Humide			NON
Bon pour mortier				OUI
Bon pour béton				OUI
Bon pour béton armé				OUI
ORIENTATIONS				
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> SELON LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER </div>				

ANNEXE VI : FICHE TECHNIQUE DES DIFFERENTS CIMENTS ETUDIES

LABORATOIRES ECO - MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS		LEMC/2iE	
FICHE TECHNIQUE CIMAF			
PRESENTATION DU PRODUIT			
PROVENANCE DU PRODUIT		CIMENT DE L'AFRIQUE CEMII/A - M 42.5R SUPER CPA 45	
TYPE DE PRODUIT			
CLASSE COMMERCIALE ET CLASSE DE RESISTANCE			
CARACTERISTIQUES DU PRODUIT			
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES			
Masses volumiques	Apparente		0.98 t/m³
	Spécifique		3.26 t/m³
Surface spécifique			1.4835 m²/g
Porosité sur mortier			3,72%
Temps de prise			1h20 mn
Densité sur béton			2.37 t/m³
CARACTERISTIQUES MECANIQUES		28 jours	90 jours
Résistances	Sur éprouvette de mortier	C 44.75 Mpa	48.14 Mpa
		F 6.28 Mpa	6.32 Mpa
	Sur éprouvette de béton	C 22.8MPa	24.1MPa
DOMAINES D'APPLICATION			
Zones	Chaudes	OUI	
	Humide	NON	
Bon pour mortier		OUI	
Bon pour béton		OUI	
Bon pour béton armé		NON	
ORIENTATIONS			
SELON LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER			

ANNEXE VI : FICHE TECHNIQUE DES DIFFERENTS CIMENTS ETUDIES

LABORATOIRES ECO - MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS		LEMC/2iE		
FICHE TECHNIQUE DIAMOND CEMENT				
PRESENTATION DU PRODUIT				
PROVENANCE DU PRODUIT		DIAMOND		
TYPE DE PRODUIT		CEMI		
CLASSE COMMERCIALE ET CLASSE DE RESISTANCE		CPA 45		
CARACTERISTIQUES DU PRODUIT				
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES				
Masses volumiques	Apparente		1.07 t/m³	
	Spécifique		3.29 t/m³	
Surface spécifique			1.2316m²/g	
Porosité sur mortier			4,13%	
Temps de prise			1h40 mn	
Densité sur béton			2.39t/m³	
CARACTERISTIQUES MECANIQUES				
Résistances	Sur éprouvette de mortier	C	28 jours	90 jours
		F	37.28 Mpa	47.46 Mpa
	Sur éprouvette de béton	C	6.06 Mpa	6.27 Mpa
			18.3MPa	25.1MPa
DOMAINES D'APPLICATION				
Zones	Chaude			OUI
	Humide			NON
Bon pour mortier			OUI	
Bon pour béton			OUI	
Bon pour béton armé			NON	
ORIENTATIONS				
SELON LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER				