

## **SOMMAIRE**

**REMERCIEMENTS**

**SOMMAIRE**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES PHOTOS**

**LISTE DES ANNEXES**

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**INTRODUCTION GENERALE**

### **PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Chapitre I: Généralites sur les bétons**

**Chapitre II: Généralités sur les bétons fluides**

**Chapitre III: Les essais des caractérisations des bétons fluides**

### **PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES**

**Chapitre IV: Caractérisation des matières prémeries**

**Chapitre V: Methode de formulation du béton fluide**

**Chapitre VI: Aproche économique et environnementale**

**CONCLUSION GENERALE**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**REFERENCES WEBOGRAPHIQUES**

**ANNEXES**

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1: Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône d' Abrams ou au test d'ouvrabilité C.E.S .....                  | 5  |
| Tableau 2: Diamètre maximale du granulat en fonction du ferraillage et de l'enrobage  | 6  |
| Tableau 3: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.....  | 7  |
| Tableau 4: Corrections en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats.....                          | 8  |
| Tableau 5: Valeurs du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats ..... | 9  |
| Tableau 6: Valeurs de coefficient de compacité $\delta$ .....   | 10 |
| Tableau 7: Caractéristiques physiques du ciment Manda CEM II/A de la société Holcim Madagascar.....   | 31 |
| Tableau 8: Resistance en compression du ciment Manda CEM IIA-V 42,5 de la société Holcim.....   | 32 |
| Tableau 9: Compositions chimique moyenne des constituants du ciment Manda CEM II/A-V 42,5N en % massique.....                                 | 32 |
| Tableau 10: Compositions chimique du ciment Manda CEM II/A-V 42,5N en % massique.....   | 33 |
| Tableau 11: Valeurs requises du ciment Manda CEM II /A -V 42,5N de la société Holcim Madagascar .....   | 34 |
| Tableau 12 : Tableau des classes granulaire avec charge abrasive .....  | 44 |
| Tableau 13: Résultats des caractérisations des nos granulats.....   | 49 |
| Tableau 14: Résultat d'analyse granulométrique des sables de rivière et de carrière.  | 50 |
| Tableau 15 : Résultat d'analyse granulométrique de gravillon 5/25 et 5/15 .....   | 51 |
| Tableau 16 : Caractéristiques physiques de filler cipolin (F <sub>1</sub> ) .....   | 52 |
| Tableau 17: Eléments chimiques majeurs dans le cipolin .....  | 52 |
| Tableau 18: Caractéristiques physiques de filler dolomie (F <sub>2</sub> ).....   | 53 |
| Tableau 19: Caractéristiques chimiques de filler dolomie (F <sub>2</sub> ).....   | 53 |
| Tableau 20 : Caractéristiques de l'eau de JIRAMA .....  | 54 |
| Tableau 21: Caractéristiques du superplastifiant sika ®viscocrete®tempo12 .....   | 55 |
| Tableau 22: Condition d'application du superplastifiant sika ®viscocrete®tempo12 ...  | 55 |
| Tableau 23: Caractéristiques du superplastifiant Rhéobuild 561 .....  | 56 |
| Tableau 24: Condition d'application du superplastifiant Rhéobuild 561.....  | 56 |
| Tableau 25: Formule du BO obtenu à partir de la méthode Dreux Gorisse.....  | 61 |
| Tableau 26: Résultats d'affaissement et des résistance en compression du B.0 .....  | 61 |
| Tableau 27: Récapitulation de formule du BFL <sub>1</sub> de l'essai 4 dans le premier ouvrage  | 65 |
| Tableau 28: Récapitulation de valeur d'affaissement, de rétrait, de porosité et de compacité de l' essai 4 dans le premier ouvrage .....      | 65 |
| Tableau 29: Récapitulation des valeurs des resistances en compression de l'essai 4 dans le premier ouvrage .....                              | 65 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau 30: Formule du BFL <sub>2</sub> en utilisant le filler cipolin et le sika viscocrète tempo 12 .....   | 66 |
| Tableau 31: Résultas d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL <sub>2</sub> .....        | 66 |
| Tableau 32: Résultats des resistances en compression du BFL <sub>2</sub> .....                                | 67 |
| Tableau 33: Formule de BFL <sub>3</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de sika viscocrète tempo 12..... | 67 |
| Tableau 34: Résultas d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL <sub>3</sub> .....        | 68 |
| Tableau 35: Résultats des resistances en compression et de la densité du BFL <sub>3</sub> .....               | 68 |
| Tableau 36: Formule du BFL <sub>4</sub> en utilisant le filler cipolin et le rhéobuild 561.....               | 69 |
| Tableau 37: Résultas d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL <sub>4</sub> .....        | 69 |
| Tableau 38: Résultats des resistances en compression et de la densité de BFL <sub>4</sub> .....               | 69 |
| Tableau 39: Formule du BFL <sub>5</sub> en utilisant le filler dolomie et le rhéobuild 561 .....              | 70 |
| Tableau 40: Résultas d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL <sub>5</sub> .....        | 70 |
| Tableau 41: Résultats des resistances en compression et de la densité du BFL <sub>5</sub> .....               | 70 |
| Tableau 42: Calcul du prix pour confectioner 1m <sup>3</sup> de BO.....                                       | 74 |
| Tableau 43: Calcul du prix pour confectionner 1m <sup>3</sup> de BFL <sub>1</sub> .....                       | 75 |
| Tableau 44: Calcul du prix pour confectioner 1m <sup>3</sup> de BFL <sub>2</sub> .....                        | 76 |
| Tableau 45: Calcul du prix pour confectioner 1m <sup>3</sup> de BFL <sub>3</sub> .....                        | 77 |
| Tableau 46: Calcul du prix pour confectioner 1m <sup>3</sup> de BFL <sub>4</sub> .....                        | 78 |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Abaque permettant de déterminer C en fonction de l'affaissement et du rapport C/E .....                                     | 7  |
| Figure 2: Exemple de tracé de courbe de référence et de détermination des proportions des granulats .....                             | 11 |
| Figure 3 : Différence de la composition de BO et d'un BFL.....  | 13 |
| Figure 4: Mécanisme d'action du superplastifiant type acrylique.....  | 14 |
| Figure 5: Représentation de l'essai d'équivalent de sable.....  | 39 |
| Figure 6: Courbe d'analyse granulométrique de sable de rivière et de sable de carrière .....  | 50 |
| Figure 7 : Courbe granulométrique de gravillon 5/15 et de gravillon 5/25 .....  | 51 |
| Figure 8: Courbe granulométrique des granulats et courbe de référence – Détermination des pourcentages volumiques des granulats ..... | 60 |
| Figure 9: Affaissements de BO et des BFL .....  | 71 |
| Figure 10: Compacités des BFL .....   | 71 |
| Figure 11: Evolution des resistances en compression de BO et des BFL .....  | 72 |

## LISTE DES PHOTOS

|  |    |
|--|----|
| Photo 1 : Test à l'affaissement au cône d'Abra.ms du BO .....                      | 20 |
| Photo 2 : Moules cylindriques en acier rempli du BFL.....                          | 25 |
| Photo 3 : Bac remplie d'eau contenant des éprouvettes cylindriques 16 *32 cm ..... | 25 |
| Photo 4 : Essai de compression des éprouvettes cylindriques du BFL .....           | 27 |
| Photo 5: Machine pour essai de MDE .....   | 43 |
| Photo 6: Série des tamis .....   | 46 |

## LISTE DES ANNEXES

|  |   |
|--|---|
| Annexe 1 : Fiche technique du ciment CEM II/A 42,5n Holcim .....       | A |
| Annexe 2 : Carrière PK 18 RN4 de la société SCB S.A Madagascar.....    | B |
| Annexe 3: Site de prélèvement de cipolin .....                         | C |
| Annexe 4: Fiche technique de la dolomie d 40.....                      | D |
| Annexe 5: Fiche technique du superplastifiant viscocrète tempo12 ..... | E |
| Annexe 6 : Fiche technique de superplastifiant rhéobuild 561 .....     | G |
| Annexe 7 : Description des normes relative au béton .....              | I |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|         |   |
|---------|---|
| AFGC :  | Association Française de Génie Civil                              |
| BAP :   | Béton AutoPlaçant   |
| BFL :   | Béton Fluide  |
| BFLHC : | Béton Fluide à Haute Compacité                                    |
| BHP     | Béton à Haute Performance   |
| BO :    | Béton Ordinaire   |
| CES     | Centre d'Essais des Structures                                    |
| CNRIT   | Centre Nationale de Recherches Industrielles et Technologiques    |
| GEMRE   | Groupe d'étude de la méthodologie de reconnaissance et des essais |
| JIRAMA: | Jiro sy Rano Malagasy   |
| LNTPB : | Laboratoire National des Travaux Publics et Bâtiments             |
| PK      | Point kilométrique  |
| RN      | Route Nationale   |
| SCB     | Société de Construction et des Bâtiments                          |

## NOTATIONS ET SYMBOLES

|                  |  |
|------------------|--|
| C                | Dosage en ciment pour 1 m <sup>3</sup> de béton      |
| C                | <i>Compacité</i>                                     |
| LA               | Coefficient de Los Angeles                           |
| C.V              | Coefficient volumétrique                             |
| C.A              | Coefficient d'Applatissement                         |
| D <sub>max</sub> | Diamètre maximal des granulats                       |
| d <sub>Sp1</sub> | Densité du superplastifiant Sika viscocrète tempo 12 |
| d <sub>Sp2</sub> | Densité du superplastifiant Rhéobuild 561            |
| E                | Dosage en eau pour 1m <sup>3</sup> de béton          |
| ES               | Equivalent du sable                                  |
| F <sub>1</sub>   | Filler cipolin                                       |
| F <sub>2</sub>   | Filler dolomie                                       |
| FI               | Coefficient d'aplatissement                          |
| g                | Gravillon de classe 5/15                             |
| G                | Gravillon de classe 5/25                             |
| MA               | Module d'alumine                                     |
| MDE              | Micro-Deval en présence d'eau                        |
| MPa              | MegaPascal   |
| MC               | Module de chaux                                      |
| Mf               | Module de finesse                                    |
| Mf <sub>Sc</sub> | Module de finesse de sable de carrière               |

|            |   |
|------------|---|
| $Mf_{Sr}$  | Module de finesse de sable de rivière     |
| MS         | Module de silice                          |
| $m^3$      | Mètre cube                                |
| N          | Newton                                    |
| $P$        | <i>Porosité</i>                           |
| R          | Retrait du béton                          |
| Rc         | Résistance en Compression                 |
| Sc         | Sable de carrière                         |
| Sp         | Superplastifiant                          |
| $Sp_1$     | Superplastifiant sika viscocrete tempo 12 |
| $Sp_2$     | Superplastifiant rhéobuild 561            |
| Sr         | Sable de rivière                          |
| ST         | Slump Test ou test à l'affaissement       |
| $V_a$      | Volume d'air                              |
| $V_{pâte}$ | Volume absolu de la pâte du béton         |
| $V_t$      | Volume totale                             |
| $V_{vide}$ | Volume du vide                            |
| W          | Teneur en eau                             |
| $\delta$   | Coefficient de compacité                  |
| $\Phi$     | Vide                                      |
| $\rho$     | Masse volumique apparente                 |
| $\sigma$   | Masse volumique absolue                   |

## INTRODUCTION GENERALE

Les bétons fluides ont été développés depuis une vingtaine d'années. Ils sont encore actuellement classés comme des nouvelles gammes de bétons car une attention gradissante est portée à leurs formulations.

La spécificité des bétons fluides par rapport aux bétons traditionnels réside par le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre. Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles.

Dans le cadre de cette étude sur les nouvelles formules des bétons fluides, il a été demandé de continuer l'étude que nous avons réalisé dans le premier ouvrage en ce qui concerne les bétons fluides à haute compacités. Des différentes formulations sont adoptées dans le but de pouvoir comparer notamment la fluidité, la durabilité, les performances mécaniques ainsi que les prix de revient des bétons. C'est dans cette esprit que nous avons opté pour le thème de notre recherche : « Contribution à l'étude des bétons fluides – Formulation et caractérisation »

Le principal objectif de ce travail est de poursuivre l'étude sur la formulation des bétons fluides à haute compacités. Dans ce cas, nous avons essayé d'adopter des nouvelles formules avec des matières premières qui vont différencier ces bétons.

L'étude comprend deux parties :

- Une première partie, qui est consacrée à une étude théorique du béton fluide. Des généralités et de essais de caractérisation des bétons fluides sont présentés.
- Une deuxième partie qui concerne sur les nouvelles formulations des bétons fluides à haute compacités. C'est dans cette partie que nous comparons les résistances mécaniques, la fluidité et même les coûts des bétons fluides à haute compacités.

Et enfin, nous terminons ces travaux par une conclusion qui met en lumière les fruits de notre recherche.

## **PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BETONS

### I. LES COMPOSANTS DU BETON [1]

Les trois composants de base d'un béton sont : l'eau, le ciment et les granulats. Des additifs peuvent y être rajoutés dans le but de modifier les propriétés telles que la maniabilité et la résistance mécanique. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes et chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

Le ciment portland est un mélange composé, suivant le cas, de clinker, de gypse, finement broyés et d'ajouts éventuels. La taille des grains du ciment portland ordinaire varie de quelques microns à 150 microns. Ses caractéristiques granulaires sont exprimées au travers de sa granulométrie et de sa finesse. La finesse est souvent caractérisée par sa surface massique ou surface de Blaine qui représente la surface totale des grains de ciment rapportée à la masse ; elle s'exprime en  $\text{cm}^2/\text{g}$ . La finesse habituelle est de l'ordre de  $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ , elle passe à  $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$  et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge.

Le clinker est obtenu par cuisson à  $1450^\circ\text{C}$  suivi d'une trempe de mélange d'environ 80 % de calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) et 20 % d'argile. L'argile est composée de silice ( $\text{SiO}_2$ ), d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et d'autres phases qui sont présentés à faible proportions telles que l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), le magnésium ( $\text{MgO}$ ), l'oxyde de potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ ), l'oxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Ces oxydes sont présents dans le clinker sous forme de cristaux de silicate tri-calcique  $\text{C}_3\text{S}$  ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) dénommé alite), de silicate bi-calcique  $\text{C}_2\text{S}$  et d'autres phases mineures. Le  $\text{C}_2\text{S}$ , le  $\text{C}_3\text{A}$  et le  $\text{C}_4\text{AF}$  représentent respectivement 15 à 30%, 5 à 10% et 5 à 15% du clinker classique.

Les granulats proviennent dans la plupart des cas des roches naturelles. La forme, la texture de la surface et la concentration en granulats influent d'une manière considérable sur le comportement du béton à l'état frais.

L'eau présente dans le béton joue deux fonctions principales : elle lui confère sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation du ciment. L'eau est constituée de molécules polaires de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Ces particules exercent les unes et les autres des forces d'attraction de type Van der Waals qui jouent un rôle fondamental sur ses propriétés rhéologiques. L'eau étant un milieu diélectrique, elle modifie les forces inter granulaires et son action n'est pas négligeable pour les grains très fins (ciment et les fines).

Les superplastifiants sont des adjuvants à haut pouvoir de réduction d'eau. Ils ont pour rôle de maintenir une maniabilité donnée tout en diminuant la quantité d'eau dans le béton. Ils permettent ainsi d'obtenir un béton plus résistant en raison de la réduction de l'eau. A titre indicatif, les superplastifiants permettent de réduire la teneur en eau de 25 à 35% tout en gardant une même maniabilité.

Dans le béton, la pâte qui est le mélange de ciment et d'eau et éventuellement avec des ajouts, présente à l'intérieur du béton joue à la fois le rôle de liant et de remplissage. C'est l'élément actif du béton et elle représente environ 30% du volume du béton. Les granulats constituent un squelette inerte dispersé dans cette pâte. La présence des granulats dans le mélange limite la propagation des fissures de la pâte due au retrait.

## **II. FORMULATION DE BETON ORDINAIRE PAR LA METHODE DREUX GORISSE [2][3][4]**

Cette méthode est une des plus utilisées pour la fabrication du béton. Les abaques de Dreux, permettent une approche pratique d'une composition de béton répondant à des objectifs déterminés.

Dans la suite, nous allons détailler la démarche.

### **1. Données de base**

En général, les données suivantes sont déterminées par le cahier des charges du projet, les conditions du chantier ou la disponibilité des matériaux.

#### **1.1. Nature de l'ouvrage**

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferraillé.

Il sera nécessaire de connaître l'épaisseur minimale et les dispositions des armatures dans les zones les plus ferraillées : distance minimale entre elles et couvertures par rapport au coffrage.

### 1.2. Ouvrabilité désirée

Elle est en fonction de la nature de l'ouvrage (plus ou moins massifs ou plus ou moins ferraillé), de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc...

Elle peut se définir en général par la plasticité désirée mesurée par affaissement au cône d' Abrams comme indique le tableau 1 suivant

**Tableau 1: Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône d' Abrams ou au test d'ouvrabilité C.E.S.**

| PLASTICITE       | SERRAGE             | AFFAISSEMENT A EN [cm] | NOMBRE DE CHOCS TEST C.E.S |
|------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|
| Béton très ferme | Vibration puissante | 0 à 2                  | >60                        |
| Béton ferme      | Bonne vibration     | 3 à 5                  | 30 à 50                    |
| Béton plastique  | Vibration courante  | 6 à 9                  | 15 à 25                    |
| Béton mou        | Piquage             | 10 à 13                | 10 à 15                    |
| Béton liquide    | Léger piquage       | ≥ 14                   | <10                        |

### 1.3. Diamètre maximale des granulats ( $D_{max}$ )

Le diamètre maximal des granulats ( $D_{max}$ ) est choisi suivant les spécificités de l'ouvrage à bâti. Le tableau 2 suivant montre les règles à suivre, en général. Ces valeurs sont valables pour une granularité continue, tandis que pour une granularité discontinue, ces valeurs devront être diminuées de 20% environ.

**Tableau 2: Diamètre maximale du granulat en fonction du ferraillage et de l'enrobage**

| CARACTERISTIQUES DE LA PIECE A BETON  | DIMENSION D DES GRANULATS |                 |
|---|---------------------------|-----------------|
| <b>e – espacement entre armatures horizontales</b>  | $D \leq e$                | $D \leq 0,9 e$  |
| <b>c – couverture entre armatures et coffrages</b>  | $D \leq 0,8 c$            | $D \leq 0,7 c$  |
| <b>r- rayon moyen des mailles de ferraillage</b>  | $D \leq 1,85 r$           | $D \leq 1,65 r$ |
| <b>r'- rayon moyen du moule (volume à remplir de béton par rapport à la surface totale des parois et armatures)</b> | $D \leq 1,2 r'$           | $D \leq r'$     |
| <b>hm - épaisseur minimale</b>  | $D \leq 0,2 hm$           |                 |

## 2. Dosage en ciment

Le ciment doit être de classe 42,5 N selon les hypothèses de la théorie de Dreux. Si non, on devra utiliser un surdosage, pour les classes 32,5 N et 32,5 M.

Dans tous les cas, c'est la classe vraie du ciment qui influe sur la résistance du béton et donc sur le dosage en ciment.

On commencera par évaluer approximativement le rapport Ciment / Eau (C/E) en fonction de la résistance moyenne désirée  $Rc_{28}$ .

$$Rc_{28} = G \times F_{CE} \left( \frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (1)$$

$R_c$ : résistance moyenne en compression désirée à 28 jours en Mpa

$F_{CE}$  : classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

$G$  : coefficient granulaire

$C$  : dosage en ciment (en kg/ m<sup>3</sup>)

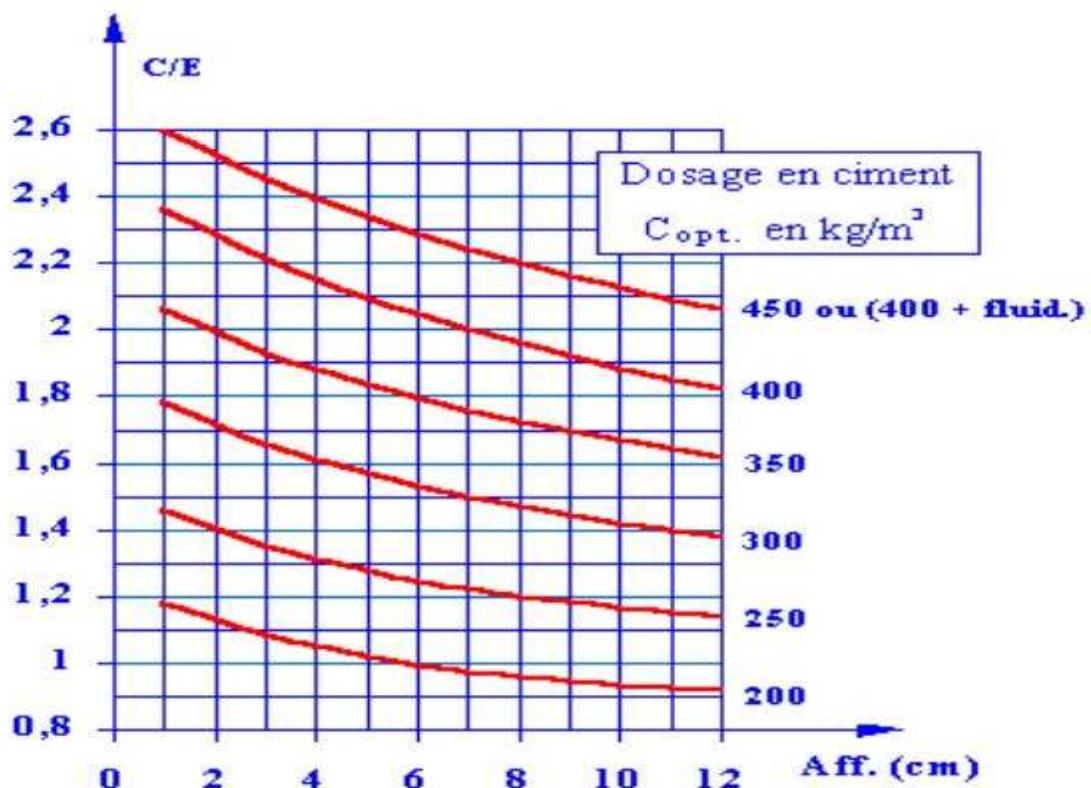
$E$  : dosage en eau totale sur matériaux secs (en L / m<sup>3</sup>)

Le tableau 3 suivant renseigne sur les valeurs approximatives du coefficient granulaire G en fonction de diamètres D<sub>max</sub>

**Tableau 3: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G**

| QUALITES DES GRANULATS | DIAMETRES D DES GRANULATS           |   |                                  |
|------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
|                        | Fins ( $D_{max} \leq 16\text{mm}$ ) | Moyens ( $25 \leq D_{max} \leq 40\text{mm}$ ) | Gros ( $D_{max} > 63\text{mm}$ ) |
| Excellent              | 0,55                                | 0,50  | 0,65                             |
| Bonne (courante)       | 0,45                                | 0,50  | 0,55                             |
| Moyenne                | 0,35                                | 0,40  | 0,45                             |

On peut fixer arbitrairement le dosage en ciment à l'aide de l'abaque de la figure 1 suivant, en fonction de la valeur de l'affaissement correspondant à l'ouvrabilité désirée et de la valeur du rapport C/E trouvée.



**Figure 1: Abaque permettant de déterminer C en fonction de l'affaissement et du rapport C/E**

## 2.1. Dosage en eau

Connaissant les valeurs de C et du rapport C/E, on peut en déduire celle, approximatives de E.

Les données précédentes sont applicables aux bétons dont le diamètre maximale des granulats est d'environ  $D_{max} = 25$  mm (diamètre la plus courante).

Si l'on a  $D_{max} < 25$  mm, la surface spécifique des granulats augmente, il faudra légèrement majorer le dosage en eau, et vice-versa.

La correction sur le dosage en eau correspond à  $D_{max} = 25$  mm, peut être approximativement évaluée d'après les valeurs du tableau 4 suivant en fonction de  $D_{max}$ .

**Tableau 4: Corrections en pourcentage sur le dosage en eau en fonction de la dimension maximale D des granulats**

| Diamètre maximales $D_{max}$ en mm    | 5    | 10 | 16 | 25 | 40 | 63 | 100 |
|---------------------------------------|------|----|----|----|----|----|-----|
| Corrections sur le dosage en eau en % | + 15 | +9 | +4 | 0  | -4 | -8 | -12 |

Le dosage en eau réel est donc obtenu par la relation suivante :

$$\text{Dosage en eau réel} = \frac{\text{Dosage en eau}}{\text{(D'après l'abaque)}} + \text{Corrections en eau} - \frac{\text{Eau d'apport}}{\text{des granulats}}$$

## 2.2. Tracé de la courbe granulaire de référence

Il est important de tracer les courbes granulométriques de chaque granulat dans un même graphique de type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats).

Sur ce graphique d'analyse granulométrique, on trace la courbe granulaire de référence OAB.

- Point O, origine [20 ; 0%]

- point B à l'ordonnée 100% correspond au diamètre  $D_{\max}$  du plus gros granulat  
[mod( $D_{\max}$ ) ; 100%]
- point de brisure A à pour coordonnées :

- en abscisse : si  $D_{\max} \leq 25$  mm ;  $X = \frac{D_{\max}}{2}$  (2)

si  $D_{\max} > 25$  mm ; X est située au milieu du segment limité par le module 38 (d = 5 mm) et le module correspond à  $D_{\max}$

- en ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_s + K_p$  (3)

Avec :

$K$ , le terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage, de la forme des granulats (roulés ou concassés)

$K_s$ , terme correcteur qui dépend du module de finesse du sable.

Les valeurs de K est données dans le tableau 5

**Tableau 5: Valeurs du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats**

| VIBRATION           |              | FAIBLE |          | NORMALE |          | PIUSSANTE |          |
|---------------------|--------------|--------|----------|---------|----------|-----------|----------|
| Forme des granulats |              | Roulé  | Concassé | Roulé   | Concassé | Roulé     | Concassé |
| Dosage en ciment    | 400+ fluidif | -2     | 0        | -4      | -2       | -6        | -4       |
|                     | 400          | 0      | +2       | -2      | 0        | -4        | -2       |
|                     | 350          | +2     | +4       | 0       | +2       | -2        | 0        |
|                     | 300          | +4     | +6       | +2      | +4       | 0         | +2       |
|                     | 250          | +6     | +8       | +4      | +6       | +2        | +4       |
|                     | 200          | +8     | +10      | +6      | +8       | +4        | +6       |

Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier), une correction supplémentaire sera effectué de façon à relever le point A, ce qui correspond à augmenter le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s = 6M_f - 15$ . (4)

Si la quantité du béton est précisée « pompage », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton courant.

On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur  $K_p = +5$  à  $+10$  environ, selon le degré de plasticité désiré.

### 2.3. Coefficient de compacité ( $\delta$ )

C'est le rapport à un mètre cube du volume absolu des matériaux solides (ciment et granulats) réellement contenus dans un mètre cube de béton frais en œuvre. On choisira une valeur approximative de  $\delta$  dans le tableau 6.

**Tableau 6: Valeurs de coefficient de compacité  $\delta$**

| CONSISTANCE | COMPACTAGE<br>(SERRAGE) | COEFFICIENT DE COMPACITE |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             |                         | $D_{max}$                |       |       |       |       |       |       |
|             |                         | 5                        | 10    | 16    | 25    | 40    | 63    | 100   |
| Molle       | Piquage                 | 0,750                    | 0,780 | 0,795 | 0,805 | 0,819 | 0,815 | 0,820 |
|             | Vibration faible        | 0,755                    | 0,785 | 0,800 | 0,810 | 0,829 | 0,820 | 0,825 |
|             | Vibration normale       | 0,760                    | 0,790 | 0,805 | 0,815 | 0,820 | 0,825 | 0,830 |
| Plastique   | Piquage                 | 0,760                    | 0,790 | 0,805 | 0,815 | 0,820 | 0,825 | 0,830 |
|             | Vibration faible        | 0,765                    | 0,795 | 0,810 | 0,820 | 0,825 | 0,830 | 0,835 |
|             | Vibration normale       | 0,770                    | 0,800 | 0,815 | 0,825 | 0,830 | 0,835 | 0,840 |
|             | Vibration puissante     | 0,775                    | 0,805 | 0,820 | 0,830 | 0,835 | 0,840 | 0,845 |
| Ferme       | Vibration faible        | 0,775                    | 0,805 | 0,820 | 0,830 | 0,835 | 0,840 | 0,845 |
|             | Vibration normale       | 0,780                    | 0,810 | 0,825 | 0,835 | 0,840 | 0,845 | 0,850 |
|             | Vibration puissante     | 0,785                    | 0,815 | 0,830 | 0,840 | 0,845 | 0,850 | 0,855 |

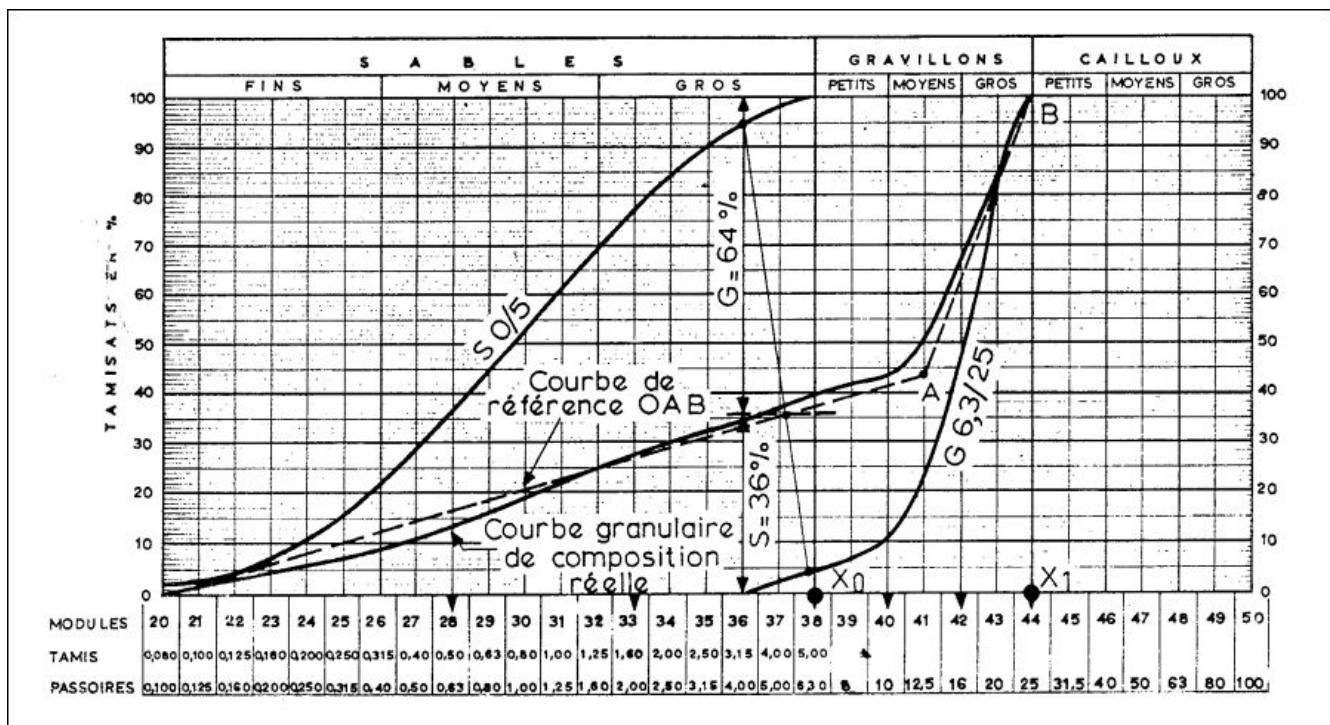
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés si non il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- sable roulé et gravier concassé = - 0.01 ;
- sable et gravier = - 0.03

- pour les granulats légers, on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de  $\delta$  qui correspondant ici à des granulats denses ordinaires.

## 2.4. Dosage des granulats

Les proportions, en volume absolu, des différents granulats ( $\%G_i$ ) sont déterminées en utilisant la notion de lignes de partages : fonction de 95% du premier granulat à 5% du suivant, et ainsi de suite ; les proportions sont données par les intersections des lignes de partage et la courbe de référence.



**Figure 2: Exemple de tracé de courbe de référence et de détermination des proportions des granulats**

Pour le dosage des granulats secs en Kg, la relation utilisée est la suivante.

$$\text{Dosage de granulat } i \text{ en [Kg]} = V_{gi} \times (\%G_i) \times \sigma_i = (\%G_i) \times \sigma_i (1000\delta - \frac{C}{\sigma_C})$$

$$\text{Dosage de granulat } i \text{ en [Kg]} = (\%G_i) \times \sigma_i (1000\delta - \frac{C}{\sigma_C}) \quad (5)$$

Avec :

$\sigma_i$  est le masse volumique absolue de chacun des granulats ;

$V_{gi}$ , le volume absolu de chaque granulat défini par  $V_{gi} = V_g \cdot \%G$  ;

$\%G$ , la proportion en volume absolu du granulat i.

$V_g$ , le volume absolu des granulats obtenu par la relation  $V_g = \left( 1000 \delta - \frac{C}{\sigma_c} \right)$ ,

$\frac{C}{\sigma_c}$ , le volume absolu du ciment (C dosage en ciment en Kg et  $\sigma_c$  est la masse

spécifique du ciment en Kg/l).

1000  $\delta$ , le volume total absolu des grains solides en litres et  $\delta$ , la compacité.

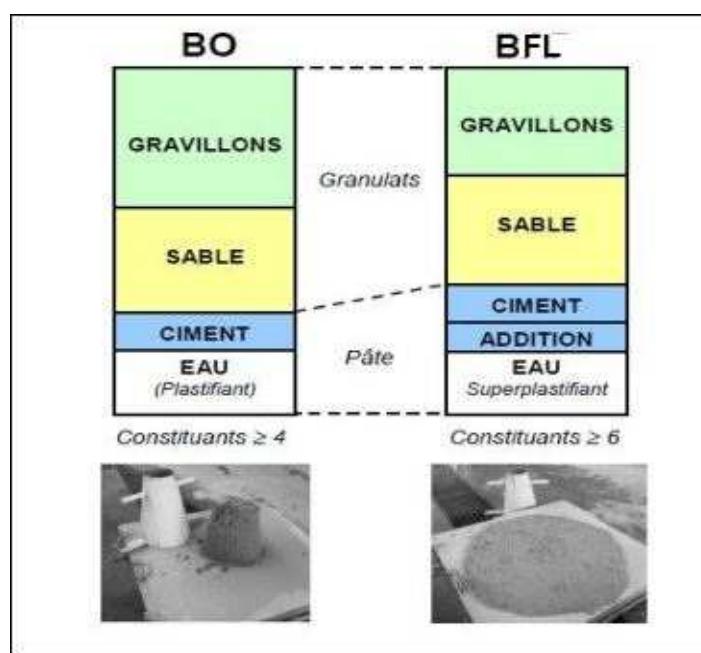
## CHAPITRE II: GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS FLUIDES

### I. PROPRIÉTÉ DES BÉTONS FLUIDES [1]

Les bétons fluides sont des bétons capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et reste homogène au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et en place (absence de ségrégation statique).

La mise en place sous la seul effet de la gravité nécessite une grande fluidité du mélange, mais il est aussi indispensable que le béton fluide conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenus par l'ajout et le dosage adéquat de superplastifiants et de fines et / ou l'emploi de d'agents de viscosité. Le béton fluide doit être assez fluide pour remplir les coffrages sans apport de vibrations sous l'effet de son propre poids.

Les bétons fluides y compris les bétons autoplaçants (bétons très fluides) sont formulés différemment du béton classique car il s'agit de concilier deux propriétés contradictoires: la fluidité et la stabilité. En général, les bétons fluides possèdent un même dosage en ciment et en eau que les bétons ordinaires (BO), ainsi que le volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons (figure 3). Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la formulation choisie.



**Figure 3 : Différence de la composition de BO et d'un BFL**

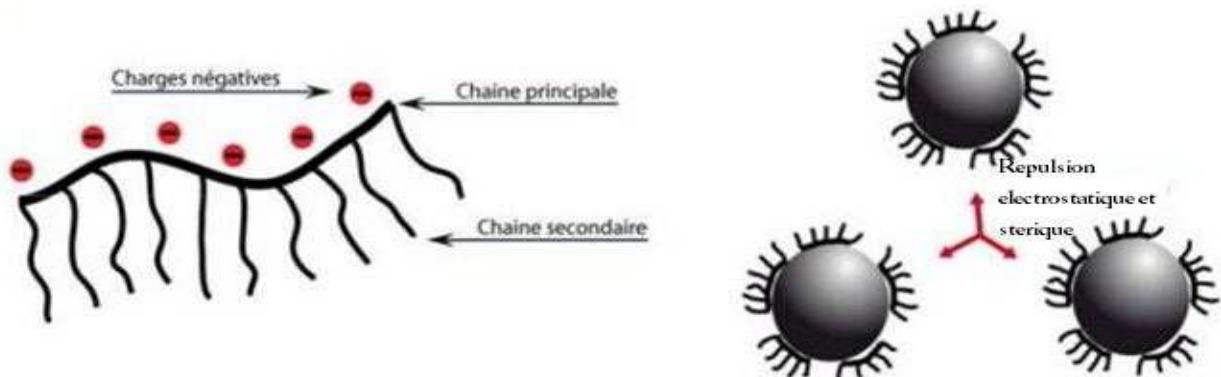
## II. INFLUENCE DES PARAMETRES DE FORMULATION SUR LES PROPRIÉTÉS A L'ETAT FRAIS DU BETON FLUIDE [1][3]

### 1. Influence des superplastifiants

L'apparition des bétons fluides, des bétons autoplaçants (BAP), et des bétons à haute performance (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et particulièrement celui des superplastifiants.

L'action principale des superplastifiants est de defloculer les grains de ciment. Une action de répulsion électrostatique agit en neutralisant les charges électrostatiques présentes à la surface des grains et/ ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau piégée par les flocs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton. Il est donc possible de mettre en œuvre des bétons fluides, avec des rapports E/C faibles.

Le superplastifiant interagit avec les particules du mortier (ciment et additions) en s'absorbant à leurs surfaces comme indique la figure 4.



**Figure 4: Mécanisme d'action du superplastifiant type acrylique**

### 2. Influence des fines d'ajout

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégations et de ressauge, les BFL contiennent une quantité de fines supérieure à celle des bétons conventionnels.

La quantité de pâte joue un rôle important dans la fluidité car l'ajout des fines réduit les interactions entre les plus gros grains. Il est donc nécessaire dans le cas des bétons fluides de remplacer une partie de ciment par des additions minérales.

Différentes additions sont citées dans la littérature : Calcaire, Cendres volantes, Laitiers de haut fourneau, Schistes calcinés, Fumée de silice, Fillers.

- **Calcaires (L)**

Les calcaires sont considérés comme un des constituants principaux d'un ciment composé. Ils doivent présenter une proportion de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  supérieure à 75% en masse.

- **Laitier granulé de haut fourneau(S)**

Le laitier est un sous-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.

- **Cendres volantes (V ou W)**

Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. On distingue: Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques; Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.

- **Schistes calcinés (T)**

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800 °C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.

- **Fumée de silice (D)**

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (ordre de 0,1  $\mu\text{m}$ ). Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques.

- **Fillers (F)**

Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

### 3. Influence de volume de pate élevé [5]

Les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage du béton. C'est pourquoi, les BFL contiennent un volume de pate (ciment +additions +adjuvants+eau + air) important, typiquement de 330 à 400 l.m<sup>-3</sup> dont le rôle est d'écartier les granulats les uns des autres. Le volume de pate dans un béton fluide représente 35 à 45 % du volume total, alors que dans un béton traditionnel, il est de 20 à 35% et qu'un superplastifiant est employé pour fluidifier la pate.

### 4. Influence de volume de gravillons [5]

Il est possible d'utiliser un gravillon concassé ou roulé pour la formulation du béton fluide.

Comme les gravillons sont à l'origine de blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter leur volume. D'un autre côté, la présence des gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et les résistances souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport G/S de l'ordre de 1 pour les bétons fluides.

## III. MISE EN OEUVRE DES BETONS FLUIDES [6][7]

La principale différence, entre un béton fluide et un béton traditionnel, réside dans le comportement du matériau à l'état frais et donc dans sa mise en œuvre. La spécificité d'un béton fluide est d'être extrêmement fluide. Il se compacte sous l'effet de son propre poids et ne nécessite donc pas de vibration pour être mis en place.

Par ailleurs, le matériau doit être stable pour assurer l'homogénéité de la structure finale. En termes de mise en œuvre, les bétons fluides offrent des conditions plus souples que le béton traditionnel du fait de la suppression de la vibration.

Un des avantages majeurs des bétons fluides est la réduction de la durée de la phase de coulage : la vidange de la benne se fait plus rapidement, l'écoulement du matériau est bien évidemment plus aisé, la phase de vibration est supprimée.

Les caractéristiques du béton fluide autorisent des cheminements horizontaux importants (10 m maximum d'après l'AFGC). Ils peuvent être mis en œuvre, soit de façon traditionnelle à la benne à manchette, soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage).

Le pompage permet une mise en œuvre plus rapide du béton. L'extrême fluidité des bétons fluides nécessite de soigner particulièrement l'étanchéité des coffrages.

Il est important de limiter leur hauteur de chute dans les coffrages afin d'éviter toute ségrégation en amenant le bas de la manchette en limite de la zone de bétonnage.

Comme pour les bétons traditionnels, il convient de vérifier les conditions atmosphériques avant coulage. En dehors de la gamme 5-25°C, des dispositions particulières sont à prendre.

Une attention particulière doit être portée à la cure des bétons fluides, c'est-à-dire à la protection de mise en œuvre pour éviter l'évaporation, et particulièrement dans le cas d'applications horizontales. Le faible ressuage des bétons fluides les rend en effet plus sensibles au retrait plastique. D'une manière générale, il est recommandé d'éviter une évaporation trop importante dans les premières heures après mise en œuvre.

#### **IV. QUELQUES OUVRAGES REALISES AVEC DES BETONS FLUIDES A MADAGASCAR [1]**

La Tour Orange à Ankorondrano a été réalisée avec du béton fluide pour faciliter sa mise en œuvre, compte tenu de la hauteur du bâtiment qui est de trente étages et en plus, dans un souci d'avoir la meilleur qualité de parement possible, aussi bien que de la résistance à la compression optimale, conformément au cahier des charges. Cet ouvrage a été réalisé par la société COLAS Madagascar.

Comme la SCB, la société COLAS dispose d'une centrale de « béton prêt à l'emploi » qui est exploitée pour leurs chantiers respectifs, aussi bien que pour la vente aux particuliers et aux Petites et Moyennes Entreprises (PME).

Les constituants dudit béton fluide sont sensiblement identiques au BAP parce qu'en plus de sa composition (eau+ciment+granulats+fines), on utilise d'adjuvant tel que le superplastifiant.

Ladite société utilise aussi du béton très fluide pour les fondations sur pieux dans le but de faciliter la mise en œuvre, d'avoir une rapidité d'exécution et afin d'obtenir la résistance à la compression prescrite dans le cahier des charges de l'ouvrage à réaliser. Tel était le cas des pieux pour la fondation du pipeline d'Ambatovy.

D'après la SCB, elle a déjà réalisé des ouvrages avec du béton fluide ou béton très fluide depuis quelques années. Ce sont surtout les entreprises chinoises qui recommandent ces types de bétons (exemple : les pieux de fondation du nouveau Bâtiment de l'INSCAE sis au 67 ha et autres).

De ce fait, beaucoup de Bâtiment et d'ouvrage sont déjà réalisés avec des bétons fluides et très fluides, qui ont à peu près la même formulation que le BAP, mais seulement, les grandes entreprises les utilisent suivant la demande des maîtres d'œuvre ou des architectes, sans pour autant maîtriser la formulation conformément à la norme requise du BAP.

## CHAPITRE III: LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS FLUIDES

Les essais de caractérisation des bétons en général comportent quatre parties bien distinctes :

- L'essai d'affaissement au cône d'Abraams ou Slump Test;
- L'essai de retrait ;
- L'essai de Porosité et de compacité ;
- L'essai des résistances sur éprouvettes ;

### I. ESSAI D'AFFAISSEMENT AU CONE D'ABRAMS OU SLUMP TEST [8]

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids comme indique la photo 1. Plus l'affaissement sera grand, plus le béton sera réputé fluide. Toutefois les résultats obtenus ne sont pas très fiables pour les bétons très fermes et ou très fluides.

#### 1. Matériel utilisé

- Moule, sans fond, de forme tronconique, aux dimensions inférieures suivantes (en millimètres) :
  - Diamètre du cercle de la base supérieure  $100 \pm 0,5$  ;
  - Diamètre du cercle de la base inférieure  $200 \pm 0,5$  ;
  - Hauteur  $300 \pm 1$ .

Il est construit de manière à être indéformable. Il doit être muni de :

- Poignées de préhension aux 2/3 de la hauteur ;
- Dispositif de fixation pour les pieds de l'opérateur, permettant de l'assujettir sur la surface d'appui ;
- Portique de mesure, avec règle graduée ;
- Tige de piquage, acier doux, de diamètre 16 mm avec extrémité hémisphérique ;
- Surface d'appui de l'ensemble;
- Eventuellement, entonnoir pour introduire le béton.

## 2. Mode opératoire

- Humidifier la surface d'appui et y assujettir le moule dont la paroi intérieure, bien propre, aura été légèrement huilée ;
- Au moyen d'une pelle creuse, introduire le béton dans le moule en trois couches, chacune ayant une hauteur égale au tiers de la hauteur du cône. Cette introduction doit commencer une à deux minutes, au maximum, après prélèvement et homogénéisation du béton destiné à l'essai ;
- Piquer chaque couche 25 fois, avec la tige de piquage, en répartissant les enfoncements uniformément sur la surface du béton et en faisant pénétrer la tige dans la couche sous-jacente s'il y a lieu ;
- A la dernière couche, au cours du compactage, ajouter le béton nécessaire pour que le moule soit juste rempli à ras bords ;
- Araser en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule. Eviter pendant cette opération un compactage supplémentaire du béton ;
- Démouler immédiatement en soulevant le moule avec précaution, lentement, à la verticale et sans secousses ;
- Après démolage, procéder dans la minute à la lecture de l'affaissement, en mesurant le point le plus haut du béton affaissé ;
- Pour obtenir une meilleure appréciation de l'affaissement, procéder à trois prises successives et réaliser sur chaque prise une détermination au demi-centimètre. Retenir pour résultat la moyenne arithmétique des lectures, arrondie au centimètre.



Photo 1 : Test à l'affaissement au cône d'Abams du BO

## II. ESSAI DE RETRAIT [5]

Le retrait est la diminution de longueur d'un élément de béton.

On s'attache sur le retrait hydraulique. Ce retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de béton.

Ce retrait est mesuré par le pied à coulis.

Le retrait est calculé à partir de la relation suivante :

$$R[\%] = \frac{(h_1 - h_2)}{h_1} \times 100 \quad (6)$$

$h_1$  est la hauteur du moule rempli du béton frais

$h_2$ , la hauteur du béton durci sortie du moule.

## III. ESSAI DE POROSITE ET DE COMPACITE [2]

La porosité et la compacité sont liées directement à la résistance en compression : plus la porosité est élevée, plus la résistance en compression du béton est faible, par contre plus la compacité est élevée, plus cette résistance l'est aussi.

La porosité est calculée par la relation (7)

$$P\% = \frac{V_{vide}}{V_t} \times 100 \quad (7)$$

La compacité et la porosité sont liées par la relation(4) :  $P = 1 - C$  (8)

### • Matériels

- Balance de précision
- Echantillon du béton
- Chiffon jaune

### • Description de l'essai

- Prélever l'échantillon du béton très sec durci (mètre à l'étuve pour éliminer toutes les formes de l'eau) ;
- Peser le béton, soit  $m_0$  ;

- Plonger le béton dans de l'eau froide pendant 48 h pour bien remplir les pores de l'eau ;
- Après 48 h, sortir de l'eau le béton et essuyer par le chiffon jaune son extrémité. Peser le ensuite. Soit  $m_1$  ;
- Calculer le volume de l'eau contenu dans les pores du béton à partir de la relation :  $V_{\text{eau}} = V_{\text{vide}} = (m_0 - m_1)\rho_e$  ( le volume de vide est égale au volume de l'eau contenu dans les pores). Ce volume est exprimé en  $\text{cm}^3$  quand  $m_0$  et  $m_1$  sont en g ;
- Calculer la porosité et en déduire la compacité du béton à partir de la relation (7) et (8).

#### **IV. RESISTANCES SUR EPROUVENTES [8][9]**

Ces essais, effectués à partir des éprouvettes, ont pour objet de déterminer les diverses caractéristiques mécaniques du béton.

Ces essais s'appliquent aux bétons hydrauliques à usage courant, utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics. Les essais le plus utilisés sont :

##### **1. L'essai de compression**

###### **1.1. Principe de l'essai**

L'essai consiste à presser une éprouvette de forme bien déterminée entre les deux plateaux d'une presse, avec une vitesse de chargement constante, jusqu'à rupture de l'éprouvette.

###### **1.2. Spécifications**

###### **1.2.1. Eprouvettes**

Les éprouvettes peuvent être des éprouvettes prismatique ou cylindriques d'élancement égal à 2 qui est le plus classique mais on peut utiliser des éprouvettes d'élancement 1.

En se référant à la norme, nous confectionnons des éprouvettes cylindriques de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm (élancement 2).

Les éprouvettes sont obtenus dans les moules indéformables et étanches qui sont généralement en acier, en matière plastique ou en carton.

### 1.2.2. Confection et conservation des éprouvettes [1]

#### 1.2.2.1. Préparation de la gâchée

- **Béton ordinaire**

La préparation du béton ordinaire pour réaliser des essais à l'état frais et à l'état durci doit suivre une certaine méthodologie.

Avant tout, il faut déterminer les proportions de chaque constituant avant de passer aux essais à travers le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cylindriques ou prismatiques nécessaire pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage ;
- Réunir tous les matériels nécessaires pour effectuer les essais ;
- Vérifier que les matériels ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve ;
- Peser les matériaux secs (gravillons, sable, ciment), les introduire sur le lieu de malaxage et préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée ;
- Effectuer immédiatement les essais de caractérisation à l'état frais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.

- **Béton Fluide**

La préparation du béton fluide demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant, il faut suivre le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cylindriques ou prismatiques nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage ;
- Réunir tous les matériels nécessaires pour effectuer les essais ;

- Vérifier que les matériels ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve ;
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée et le superplastifiant est ajouté à la première moitié de l'eau de gâchage ;
- Peser les matériaux secs (gravillons, sable, ciment, fumées de silice) et les introduire sur le lieu de malaxage ;
- Au cours du malaxage, ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant) ;
- Ajouter la deuxième moitié d'eau graduellement ;
- Effectuer immédiatement les essais de caractérisation à l'état frais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.

### **1.2.3. Moulage et serrage [1]**

- **Béton ordinaire**

- Remplir les éprouvettes en deux couches et les vibrer;
- Le serrage doit être suffisamment consistant pour parvenir à la résistance caractéristique souhaitée;
- Bien araser la partie supérieure du moule avant d'entreposer le moule rempli de béton.

- **Béton Fluide**

- Remplir les éprouvettes en deux couches sans vibration (Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage) ;
- Une fois dans le moule le BFL se met en place sous l'effet de son poids;
- Araser la partie supérieure de moule afin d'avoir une surface lisse avant d'entreposer le moule rempli de béton.

On peut voir sur la photo 2, les moules cylindriques 16x32 cm remplis du BFL



**Photo 2 : Moules cylindriques en acier rempli du BFL**

#### 1.2.3.1. Conservation des éprouvettes [1]

Après le gâchage pour un béton ordinaire ou pour un BFL, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h.

Une fois démoulés, pour assurer un bon mûrissement du béton, et pour garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment, les éprouvettes sont immergés dans un bac d'eau à une température de 20°C comme indique la photo 3 ci-dessous,



**Photo 3 : Bac remplie d'eau contenant des éprouvettes cylindriques 16 \*32 cm**

#### 1.2.4. Machine d'écrasement

La machine d'écrasement est une presse de force appropriée qui doit être contrôlée, et dont les plateaux ou contre plateaux doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieures à celle des faces de l'éprouvette soumise à l'essai.

### 1.3. Opérations préparatoires

#### 1.3.1. Précautions contre la dessiccation

Il conviendra d'éviter la dessiccation des éprouvettes depuis le moment où elles seront retirées du milieu dans lequel elles auront été conservées pour être transférées à la salle d'essai. L'influence d'une dessiccation est d'autant plus sensible que l'éprouvette est petite et surtout si elle a été conservée dans l'eau.

#### 1.3.2. Détermination du poids volumique de l'éprouvette

L'éprouvette étant essuyé ou nettoyée, la peser avec une erreur relative inférieure à 0,001.

Eventuellement, son poids volumique est obtenu par la division de son poids par le volume correspondant.

### 1.4. Conduite de l'essai

- Nettoyer les faces de chargement des plateaux ou contre-plateaux, ainsi que celles de l'éprouvette surfacée ;
- Placer l'éprouvette, face de l'arasement vers le haut ;
- La centrer par l'emploi d'un gabarit de centrage s'appuyant sur l'éprouvette elle-même, et non sur le produit de surfaçage.
- Veiller à ce que le contact entre plateaux et éprouvette soit uniforme
- Appliquer la charge d'une manière continue et sans chocs jusqu'à rupture éprouvettes. La vitesse de chargement doit être constante pendant la durée de l'essai et égale à 0,5 MPa par seconde avec une tolérance de 0,2 MPa par seconde, ce qui correspond à un accroissement de force de  $10 \pm 4 \text{ KN. s}^{-1}$  pour une éprouvette de format  $16 \times 32 \text{ cm}$ .
- Retenir pour charge de rupture la charge maximale enregistrée au cours de l'essai.

- La résistance correspondante  $R_c$ , en MPa à 0,5 MPa près, est représentée par le quotient suivant :

$$R_c = \frac{10P}{S} \quad (9)$$

Avec les définitions suivantes :

P : La charge maximale en kil newtons (KN)

S : La section de l'éprouvette en centimètre carrés ( $\text{cm}^2$ ). Nos éprouvettes ont une dimension 16 \* 32 cm, d'où  $S = 20,1 \text{ cm}^2$

La photo 4 suivante montre l'essai de compression du BFL



**Photo 4 : Essai de compression des éprouvettes cylindriques du BFL**

## 2. L'essai de traction [10]

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par  $f_{t28}$ .

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élancement 4, reposant sur deux appuis :

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges).

La mesure de la résistance à la traction s'effectue par essai de traction par flexion sur l'éprouvette 4\*4\*16, à partir de la machine à traction du laboratoire

## **PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES**

## INTRODUCTION

L'objectif de cette étude expérimentale est de continuer l'étude que nous avons effectuée dans le premier ouvrage qui est intitulé : « Contribution à l'étude de béton fluide à haute compacité : utilisation des fines d'ajout de type calcaire ». Dans ce mémoire, nous avons présenté que l'ajout des fines de cipolin comme filler calcaire et l'utilisation de superplastifiant ainsi que l'application d'une nouvelle formulation (récommandation de l'AFGC) différencient le béton fluide à haute compacité au béton ordinaire. Cette nouvelle gamme de béton fluide présente une bonne résistance en compression, une bonne maniabilité et une bonne durabilité.

Pour continuer à l'étude, nous utilisons pour la composition du béton :

- Le ciment Manda CEM II/A –V-42,5N de la société Holcim Madagascar;
- Deux types de gravillons de classe 5/15 (g) et de classe 5/25 (G) (provenant de la carrière PK18 RN4 de la société SCB);
- Deux types de sable : sable de carrière Sc ( provenant aussi de la carrière PK18 RN4 de la société SCB) , sable de rivière Sr ( gisement de l'Ikopa);
- Deux types des fillers : le filler cipolin et le filler dolomie;
- L'eau de JIRAMA;
- Deux superplastifiants : le SIKA Viscocrète Tempo 12 et le Rhéobuild 561.

Le but d'utilisation de ces superplastifiants est de connaître le bon superplastifiant compatible avec nos matériaux, en se référant aux résultats d'affaissement et à ceux des essais de compression du béton durci.

Mais avant tout, nous avons formulé un béton témoin (béton ordinaire) sans ajout des fines et d'adjuvant pour pouvoir comparer la résistance en compression de ce béton à ceux des bétons fluides.

Des caractéristiques des matières premières ont été exposées afin de proposer une nouvelle formule des bétons.

## CHAPITRE IV: CARACTERISATION DES MATERIES PREMIERES

Il est à noter que ces matières premières que nous utiliserons lors de nos expériences sont disponibles sur le marché national de Madagascar.

### I. LE CIMENT CEM II/A –V- 42,5 [10]

Dans toute l'expérience, le ciment Manda CEM IIA-V 42,5 provenant de la société HOLCIM Madagascar est utilisé. Il est vendu dans tous les quincailleries dans un sac de 50 Kg.

Comme sa dénomination l'indique, c'est un ciment composé à la cendre volante de nature siliceuse.

#### 1. Caractéristiques physiques

Le tableau 7 suivant montre les caractéristiques physiques du ciment CEM II/A-V 42,5N de la société Holcim.

**Tableau 7: Caractéristiques physiques du ciment Manda CEM II/A de la société Holcim Madagascar.**

| PARAMETRES PHYSIQUES     | CARACTERISTIQUES |
|--------------------------|------------------|
| Forme                    | poudre           |
| Couleur                  | grise            |
| Odeur                    | inodore          |
| Densité apparente        | 1                |
| Densité absolue          | 3,1              |
| SSB [cm <sup>2</sup> /g] | 3400             |
| Début de prise [mn]      | 169              |
| Stabilité [mm]           | 0                |

Source : Société Holcim Madagascar

#### 2. Caractéristiques mécaniques

La résistance en compression du mortier normale du ciment CEM IIA-V 42,5 est donnée dans le tableau 8 suivant

**Tableau 8: Resistance en compression du ciment Manda CEM II-A-V 42,5 de la société Holcim**

| RESISTANCES EN COMPRESSION DE MORTIER NORMALE | VALEURS en [MPa] |
|---|------------------|
| Rc <sub>2</sub>                               | 19,80            |
| Rc <sub>7</sub>                               | 31,95            |
| Rc <sub>28</sub>                              | 54               |

**Source : Société Holcim Madagascar**

La classe vraie du ciment CEM II/A-V- 42,5 est de 54 MPa, il appartient bien à la classe de resistance 42,5.

### 3. Caractéristiques chimiques

#### 3.1. Composition

Le ciment Manda CEM II/A-V est un ciment portland composé aux cendres volantes siliceuses. Sa composition minéralogique est en pourcentage massique :

- Clinker : 86%
- Cendres volantes : 10%
- Gypse : 4%

Les compositions chimiques moyennes de ces composants sont données dans le tableau 9 :

**Tableau 9: Compositions chimique moyenne des constituants du ciment Manda CEM II/A-V 42,5N en % massique.**

| COMPOSITION      | CaO | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | SO <sub>3</sub> | PF   | RI   | CaO <sub>L</sub> |
|------------------|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------------|------|------|------------------|
| CLINKER          | 62  | 19,4             | 6,01                           | 3,54                           | 2,37 | 3,48            | 3,48 | 1,46 | 1,41             |
| CENDRES VOLANTES | 7,5 | 55,8             | 23,70                          | 3,2                            | 4,1  | 4,2             | 4,2  | —    | —                |
| GYPSE            | 30  | 12               | 3,2                            | —                              | 8,1  | 42,1            | 4,1  | —    | —                |

**Source : Société Holcim Madagascar**

### 3.2. Composition chimique

La composition chimique du ciment Manda CEM II/A – V 42,5N est présentée par le tableau 10 suivant.

**Tableau 10: Compositions chimique du ciment Manda CEM II/A-V 42,5N en % massique.**

| COMPOSITION   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO <sub>T</sub> | MgO  | SO <sub>3</sub> | PaF  | RI    |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|-----------------|------|-------|
| TENEUR en [%] | 22,74            | 7,67                           | 3,37                           | 55,27            | 2,77 | 2,15            | 3,57 | 14,63 |

Source : Société Holcim Madagascar

### 3.3. Modules

– **Module d'Alumine MA**

Ce module d'Alumine est calculé par les relations suivantes :

- En général

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (10)$$

- Pour un ciment composé

$$MA = \frac{Al_2O_3^*}{Fe_2O_3^*} \quad (11)$$

$$Al_2O_3^* = Al_2O_3(\text{ciment}) - Al_2O_3(\text{gypse}) - Al_2O_3(\text{cendres}) \quad (12)$$

$$Fe_2O_3^* = Fe_2O_3(\text{ciment}) - Al_2O_3(\text{gypse}) - Al_2O_3(\text{cendres}) \quad (13)$$

– **Module de Silice MS**

- En général,

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (14)$$

- Pour un ciment composé,

$$MS = \frac{SiO_2^*}{Al_2O_3^* + Fe_2O_3^*} \quad (15)$$

$$SiO_2^* = SiO_2(\text{ciment}) - SiO_2(\text{gypse}) - SiO_2(\text{cendre}) \quad (16)$$

- Module de Chaux MC
- En général,

$$MS = \frac{CaO}{CaO_{sat}} \times 100 = \frac{CaO}{2,8SiO_2 + 1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3} \quad (17)$$

- Pour un ciment composé,

$$MS = \frac{CaO_{combinée}}{2,8SiO_2^{**} + 1,65Al_2O_3^* + 0,35Fe_2O_3^*} \quad (18)$$

Avec :

$$CaO_{combinée} = CaO(\text{ciment}) - CaO(\text{gypse}) - CaO(\text{cendres}) - CaO_L \quad (19)$$

$$SiO_2^{**} = SiO_2^* - RI \quad (20)$$

Le tableau 11 renseigne sur les valeurs requises du ciment CEM II/A-V-42,5N Holcim.

**Tableau 11: Valeurs requises du ciment Manda CEM II /A -V 42,5N de la société Holcim Madagascar**

| VALEURS REQUISES | MA   | MS   | MC    |
|------------------|------|------|-------|
| VALEURS          | 1,70 | 1,85 | 92,55 |

- L' Hydraulicité (i)

L'Hydraulicité permet d'évaluer le caractère hydraulique d'un liant. Elle est définie par l'indice d'hydraulicité (i).

$$i = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO} \quad (21)$$

Le ciment Manda CEM II /A -V 42,5N de la société Holcim Madagascar a une hydraulicité  $i = 0,58$ . C'est un liant à caractère basique marqué.

## II. LES GRANULATS [1][10]

### 1. Teneur en eau (%W)

La détermination de la teneur en eau adsorbée permet de réctifier le dosage en eau de gâchage c'est-à-dire que si les échantillons contiennent une importante eau adsorbée, on doit réduire le dosage en eau en fonction de cette eau déjà apportée par les matières premières.

La teneur en eau est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\% W = 100 \left( \frac{m - m^*}{m^*} \right) \quad (22)$$

Avec  $m_0$ , la masse de l'échantillon avant le séchage

$m^*$ , la masse de l'échantillon sec sorti de l'étuve

### 2. Masse volumique apparante ( $\rho$ )

La masse volumique apparente désigne la masse de matériau par unité de volume, les vides entre les éléments inclus. Elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad (23)$$

Avec :

$m_s$ , la masse de matériau

$V$ , le volume du récipient contenant le matériau ( $V = V_s + V_{vide}$ )

- **Matériels**

- Balance de précision
- Etuve
- Récipient métallique
- Règle métallique à araser

- **Description des essais**

- Sécher les échantillons dans l'étuve ;
- Peser le récipient à vide puis tarer la balance (remettre à zéro) ;

- Peser ensuite une quantité d'eau jusqu'au remplissage du récipient pour déterminer le volume  $V$  de ce récipient (Dans ce cas le volume d'eau  $V_e$  dans le récipient est égale au volume du récipient  $V$ ) ;
- Noter la masse d'eau  $m_e$  contenu dans le récipient ;
- Calculer le volume du récipient à partir de la formule suivante

$$V = V_e = \frac{m_e}{\rho_e}$$

$\rho_e$ , masse volumique de l'eau ( $\rho_e = 1\text{g/ml}$ )

- Après la connaissance du volume  $V$  du récipient, verser l'échantillon dans ce récipient de façon à avoir des couches successives et sans tassemement jusqu'à ce qu'il y ait débordement (utiliser les mains comme entonnoir naturel) ;
- Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va-et-vient ;
- Remettre le récipient rempli d'échantillon sur la balance et noter soit  $m_s$ .
- Calculer la masse volumique apparente de l'échantillon à partir de la relation (23).

### 3. Masses volumiques absolues ( $\sigma$ )

La masse volumique absolue est le poids d'une quantité de matériau tel que le volume réellement occupé par la matière solide est rapporté à un volume égal à l'unité. Elle est déterminée par la relation suivante :

$$\sigma = \frac{P_s}{V_s} \quad (24)$$

#### 3.1.1. Masses volumiques absolues des sables

- **Matériels**

- Pycnomètre ;
- Balance électronique de précision ;
- Pissette ;
- Echantillons de sable

- **Description des essais**

**Détermination de volume exacte  $V_0$  du pycnomètre jusqu'à son remplissage**

- peser la masse vide  $m_0$  du pycnomètre ;
- Remplir le pycnomètre d'eau (utiliser la pissette) et peser ensuite. Soit  $m_1$  cette masse  $P_1 = P_0 + V_0$
- Calculer le volume  $V_0 = P_1 - P_0$  (25)

Après trois essais, la moyenne arithmétique de  $V_0$  est de 534 ml. Le volume de 1/3 du pycnomètre est donc  $V_{0(1/3)} = 178$  ml .

**Détermination de la masse volumique absolue**

- Verser 178 ml ( $V_{0(1/3)}$ ) d'eau dans le pycnomètre de volume  $V_0$ , déterminé précédemment et peser. Soit  $P_2$  ce masse.  $P_2 = P_0 + \frac{V_0}{3}$  (26)
- Verser une masse  $m_s$  du sable dans ce pycnomètre contenant d'eau jusqu'à son tierce de volume et le peser. On note  $m_3$  ce masse.

$$P_3 = P_2 + P_s \Rightarrow P_s = P_3 - P_2 \quad (27)$$

- Remplir de l'eau le pycnomètre contenant de sable jusqu'au volume  $V_0$  et peser. On note  $m_4$  ce masse  $P_4 = P_0 + P_s + \frac{V_0}{3} + V'$  (28).  $V'$  est le volume d'eau versé jusqu'au remplissage de pycn

$$V' = V_0 - V_s - \frac{V_0}{3} \quad (29)$$

- Déterminer les relations qui relient ces équations pour calculer la masse volumique absolue.

- (29) dans (28),  $P_4 = P_0 + V_0 - V_s + P_s$  (30)

- (25) dans (30),  $P_4 = P_1 - V_s + P_s$  (31)

- (24) dans (31),  $P_4 = P_1 - \frac{P_s}{\sigma} + P_s \Leftrightarrow P_s \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) = P_4 - P_1 \Leftrightarrow \sigma = \frac{P_3 - P_2}{(P_3 + P_1) - (P_4 + P_2)}$  (32).

- Calculer la masse volumique absolue à partir de la relation (32)

### 3.1.2. Masse volumique absolue des gravillons

La méthode de l'éprouvette graduée est utilisée pour déterminer la masse volumique absolue de gravillon.

- **Matériels**

- Eprouvette graduée de 1000 ml;
- Balance électronique de précision.

- **Matériaux**

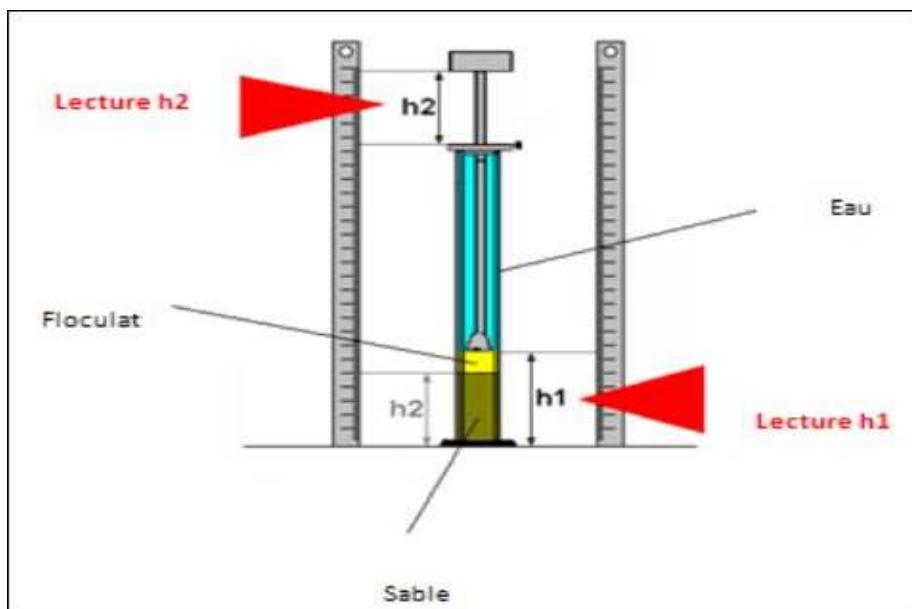
- Echantillons de gravillons représentatifs préalablement séchés par étuvage.

- **Description des essais**

- Peser 300g de gravillon. Soit  $M$  ce masse ;
- Verser 500 ml d'eau dans l'éprouvette soit  $V_1$  ;
- Verser l'échantillon de gravillon  $M$  dans l'éprouvette et noter la variation de volume soit  $V_2$  ;
- Calculer le volume de gravillon par la relation  $V_s = V_2 - V_1$  ;
- Calculer la masse volumique de gravillon à partir de la relation (24).

## 4. Equivalent de sable

L'essai d'équivalence de sable indiqué par la figure 5 est utilisé pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition du béton et de la qualité des éléments fins contenus dans cette fraction. La mesure est effectuée sur la fraction de granulat passant au tamis de 5 mm à une teneur en humidité inférieure à 2 % et à la température 23 °C.



**Figure 5: Représentation de l'essai d'équivalent de sable**

- **Matériels**

- Tamis ;
- Entonnoir ;
- Eprouvette graduée ;
- Règle graduée ;
- Piston ;
- Machine à agitateur ;
- Balance électronique de précision.

- **Description de l'essai**

- Préparer 5 litres de solution lavante en diluant une dose de solution lavante concentrée de  $125 \text{ cm}^3$  dans 5 litres d'eau déminéralisée ;
- Tamiser le sable à tester de façon à séparer les éléments sableux les plus grossiers des particules fines (fraction 0/2), puis en prélever 120 g ;
- Remplir une éprouvette avec la solution lavante jusqu'au premier trait de jauge ;
- Verser le 120 g de l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide de l'entonnoir ;
- Laisser l'éprouvette au repos pendant 10 minutes ;

- Boucher l'éprouvette à l'aide des bouchons et les agiter ;
- Remplir l'éprouvette jusqu'au second trait de jauge en lavant le bouchon et les parois intérieures afin de récupérer toutes les impuretés et le sable au fond des tubes ;
- Laisser reposer chaque éprouvette pendant 20 minutes en tenant compte des décalages de temps dus aux manipulations ;
- Mettre en place le piston pour séparer le floculat de l'eau ;
- Lire les valeurs de  $h_1$  et  $h_2$  à l'aide du réglet gradué ;
- Calculer ES par la relation suivante :

$$ES(\%) = 100 \times \frac{h_2}{h_1} \quad (33)$$

$h_2$ : sable propre + élément fin.

$h_1$ : sable propre seulement.

### Spécifications

- $ES < 60$ , sable argileux (risque de retrait ou de gonflement)
- $60 \leq ES < 70$ , sable légèrement argileux (admissible pour le béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait)
- $70 \leq ES < 80$ , sable propre à faible pourcentage de fines argileuses (convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité)
- $ES > 80$ , sable très propre.

### 5. Coefficient de Los Angeles du gravillon

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments de gravillon. Ce mode opératoire s'applique aux gravillons utilisés pour la constitution des chaussées et bétons hydrauliques.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets et aux frottements réciproques de la machine Los Angeles.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six granularités-types, de la classe granulaire 4/6,3 mm – 6,3/10 mm – 10/14 mm – 10/25 mm – 16/31,5 mm et 25/50 mm se rapprochant au mieux de la granularité du matériau tel qu'il sera mis en œuvre. Le poids de la charge des boulets varie en fonction du type de granularité.

Si  $M$  est le matériau soumis à l'essai ;  $m$ , le poids des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai ; et  $m'$ , la masse des éléments supérieurs à 1,6 mm ; la résistance combinée à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques s'exprime par la quantité :

$$LA = 100 \times \frac{m}{M} = 100 \times \frac{M - m'}{M} \quad (34)$$

### Spécifications :

- $LA < 15$  : Très bon à bon ;
- $15 < LA < 30$  : Bon à moyen ;
- $30 < LA < 45$  : Moyen à faible ;
- $LA > 45$  Médiocre et non recommandés

- **Matériels utilisés**

- Machine Los Angeles du LNTPB ;
- Boules ;
- Tamis d'ouverture de 1,6 mm ;
- Balance électronique de précision.

- **Description de l'essai**

- Effectuer l'essai sur le gravillon, ayant une granularité conforme à l'une des six classes granulaires types ;  
Dans notre cas on prend la classe granulaire 6,3 /10 mm;
- Laver et sécher à l'étuve à 105°C le gravillon et peser une masse de 5000g ;
- Mettre en place l'échantillon de gravillon dans la machine ainsi que la charge des boules relatives à la classe granulaire choisie;
- Replacer le couvercle et serrer les boulons de fixation;
- Mise en route de l'essai en faisant effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35 tr/mn;

- Enlever le gravillon après l'essai et le recueillir dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes ;
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm;
- Laver le refus à 1,6 mm dans un bac, bien remuer à l'aide d'une truelle. Puis verser dans le bac perforé, égoutter et sécher à l'étuve jusqu'à poids constant;
- Peser ce refus une fois séché. On note  $m'$  cette masse. Exprimer le coefficient de Los Angeles à partir de la relation (34) ci-dessus.

## 6. Essai d'usure micro – deval [11]

### 6.1. But et principe de l'essai

L'essai d'usure Micro-Deval a pour but de définir la mesure de la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats. Il s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisée en particulier dans le domaine du bâtiment et des travaux publics. L'essai consiste à mesurer la résistance à l'usure par frottement, entre les granulats et une charge abrasive dans des conditions bien définies.

La prise d'essai constituée par des granulats de l'une des classes granulaires suivantes 4 – 6,3 – 10, ou 10 – 14 mm, est placée avec une charge constituée de billes d'acier de 10mm de diamètre qui entraîne une usure par le frottement des granulats et des billes, et la formation d'une certaine quantité d'éléments fins de dimension inférieure à 1,6m.

Le pourcentage en poids de ces éléments fins produits au cours de l'essai représente le coefficient d'usure Micro-Deval. Cette quantité, sans dimension, est appelée, suivant la méthode employée :

- Coefficient Micro-Deval à sec (MDS)
- Coefficient Micro-Deval en présence d'eau (MDE)

## 6.2. Appareillages

Un appareillage Micro-Deval indiqué par la photo 5, qui est un broyeur à billes comportant un à quatre cylindres d'essai en acier fermé par un couvercle étanche. Ces cylindres sont entraînés en rotation pendant deux heures de rotations à 12 000trs (Chaque cylindre permet d'effectuer un essai).

Un moteur de 1KW entraînant l'arbre permet aux cylindres d'acquérir une Machine Micro-Deval une vitesse régulière de 100trs par minute.

- La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de 10mm de diamètre
- Un jeu de tamis à mailles carrées de 1,6 / 4 / 6,3 / 10 / 14 mm
- Une balance capable de peser 5 000 g à 2 g près
- Une étuve permettant le séchage à 105°C
- Des bancs
- Un dispositif de lavage
- Des récipients de séchage



**Photo 5: Machine pour essai de MDE**

### 6.3. Matériaux soumis à l'essai

L'échantillon reçu au laboratoire en blocs bruts ou en granulats devra avoir une masse d'au moins de 2000g. Pour effectuer un essai à sec ou en présence d'eau, l'échantillon sera tamisé suivant la classe granulaire choisie, lavé et séché à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

En fonction de la classe granulaire choisie, la charge abrasive est fixée comme ci-après :

**Tableau 12 : Tableau des classes granulaires avec charge abrasive**

| CLASSE GRANULAIRES en [mm] | CHARGE ABRASIVE en [g] |
|----------------------------|------------------------|
| 4,0 – 6,0                  | 2000                   |
| 6,3 – 10,0                 | 4000 ± 5               |
| 10,0 – 14,0                | 5000                   |

Source: GEMRE

### 6.4. Mode opératoire

- Introduire dans le cylindre d'essai la charge abrasive fixée conformément aux indications du tableau précédent, puis les 500g de matériau préparé. Si l'essai doit être effectué en présence d'eau, ajouter 2,50 litres ± 0,05 litre d'eau ;
- Fermer le couvercle et poser les deux cylindres sur les deux barres parallèles et faire fonctionner l'appareil pendant 2h soit 12 000tr/s ;
- Recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac. Le contenu du bac sera tamisé sous l'eau sur le tamis à mailles carrées de 1,6mm et les billes seront retirées à l'aide d'un aimant ;
- Porter le refus à 1,6mm à l'étuve pour séchage à 105°C jusqu'à masse constante, le peser, soit  $m'$  sa masse ;
- Exprimer le résultat par la relation suivante :

$$MD = 100 \times \frac{m}{500} \quad (35)$$

Avec, m est la masse sèche de la fraction de matériaux passant après essai au tamis de 1,6mm,

L'essai Micro-Deval présente l'avantage de s'effectuer sur des classes granulaires effectivement réalisées par les installations de concassage ce qui permet de suivre l'évolution de la résistance en fonction de la granularité.

L'essai devra être effectué sur l'échantillon tel qu'il sort des installations de traitement.

Lorsque l'échantillon reçu au laboratoire est en bloc brut, la classe granulaire est choisie en fonction de l'utilisation prévue.

Les granulats sont sensibles à l'eau. L'usure des roches en présence d'eau est souvent plus importante qu'à sec, surtout si elles contiennent des minéraux tendres.

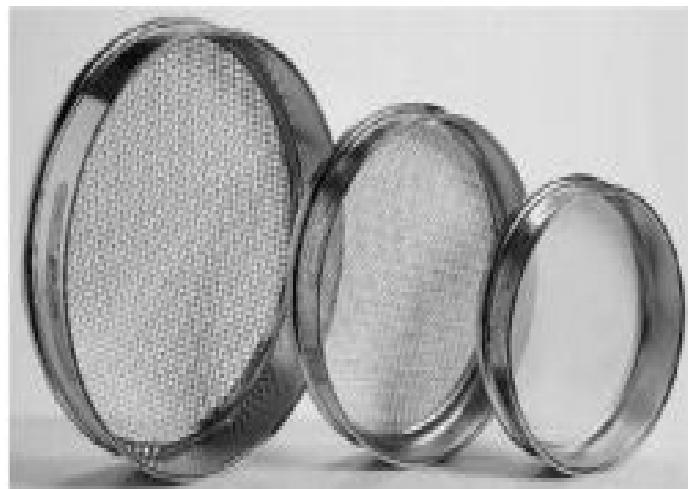
## 7. Analyses granulométriques

L'analyse granulométrique par tamisage consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat.

Les relations suivantes sont utilisées :

$$\% \text{ Refus} = \frac{\text{Refus cumulé}}{\sum \text{Refus cumulé}} * 100 \quad (36) \quad \% \text{ Passant} = 100 - \% \text{ Refus} \quad (37)$$

L'essai consiste à fractionner un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Ce fractionnement se fait à partir d'une série de tamis comme 'indique la photo 6.



**Photo 6: Série des tamis**

Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale des matériaux et les pourcentages obtenus sont exploités sous forme graphique.

- **Matériels**

- Balance électronique ;
- Série de tamis normalisés.

- **Matériaux**

- Echantillon de masse en kg

- **Description des essais**

- Prélever trois échantillons à différents endroits (en haut ; au milieu ; au fond) ;
- Introduire les échantillons dans l'étuve à 105 °C jusqu'à ce qu'on ait une masse constante ;
- Disposer les tamis tels que celui qui a la plus grande ouverture soit placé au plus haut et les disposer par ordre décroissant d'ouverture (Ne pas oublier le fond pour récupérer les fines) ;
- Verser l'échantillon de masse  $m_0$  de l'échantillon par le haut de la série de tamis ;

- Disposer un couvercle en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau ;
- Vibrer la série de tamis par la main ou par une machine vibrante pendant 15mn ;
- Peser le refus du tamis ayant la plus grosse taille et le noter ;
- Peser les refus des tamis de toute la colonne dans l'ordre de tailles de grains décroissantes ;
- Les masses des différents refus de tamis cumulés sont rapportés à la masse totale de l'échantillon ;
- Calculer ensuite le pourcentage des refus cumulés ainsi obtenus à partir de la relation (36) ;
- Déduire le pourcentage des passants cumulés à partir de la relation (37) ;
- Tracer la courbe granulométrique.

## 8. Module de finesse (Mf)

Cette caractéristique est déduite de l'analyse granulométrique du granulat. Elle est spécialement très utilisée pour caractériser la finesse d'un sable : plus le module de finesse est faible, plus le granulat est fin et inversement.

Sa valeur est donnée par la relation :

$$Mf = (\text{Somme des refus sur les tamis de module : } 20 - 23 - 26 - 29 - 32 - 35 - 38 - 41 - 44) / 100$$

Le module de finesse permet de compléter la définition granulaire, il permet de définir par un seul nombre la grosseur et la finesse du sable. Ce module est en général compris entre 0,6 et 4,0, du plus fins au plus grossier. Il ne s'applique au sable dont la dimension des plus gros grains ( $D_{max}$ ) est inférieure ou égale à 1mm.

Le module de finesse sert à évaluer la grosseur du sable :

- Un module de finesse faible correspond à un sable fin ;
- Un module de finesse élevé correspond à un sable grossier.

Le Module de finesse peut être représenté géométriquement ; il correspond approximativement à la valeur de la surface comprise entre la courbe granulométrique, la parallèle à l'axe des ordonnées passant par le tamis d'ouverture 0,16 mm et la parallèle à l'axe des abscisses, passant au point 100% des passants cumulés.

La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fin du sable.

## 9. Coefficients d'aplatissement (CA) et coefficients volumétrique (CV) [1]

Le principe de la méthode pour déterminer le coefficient d'aplatissement consiste à effectuer deux tamisages successifs :

- Un tamisage sur tamis qui permet de classer l'échantillon en différentes classes granulaires  $d/D$  (avec  $D = 1,25 d$ ) ;
- Un tamisage des différentes classes granulaires  $d/D$ , sur des grilles à fentes parallèles d'écartement  $D/2$

Le coefficient d'aplatissement de chaque classe granulaire  $d/D$  correspond au passant du tamisage sur la grille à fente correspondante, exprimé en pourcentage.

### Spécifications :

Une série de grilles constituées par des barres cylindriques parallèles fixées dans un châssis carré.

Pour chacune des grilles, les fentes doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- Il doit y avoir plus de 10% de la longueur totale des fentes dont l'écartement diffère de 0,25 mm de l'écartement nominal ;
- En aucun point des fentes, la longueur de fente ne doit s'écartez de 0,5 mm de la dimension nominale.

## 10. Résultats

Les résultats de teneur en eau, de masse volumique apparente, de masse volumique absolue, de coefficient de Los Angeles, d'équivalente de sable, de Micro-Deval en présence d'eau, de coefficient volumétrique, de coefficient d'Applatissement et de module de finesse sont exposés dans le tableau 13 suivante :

**Tableau 13: Résultats des caractérisations des nos granulats**

| REFE-<br>RENCE | W<br>[%] | $\rho$<br>[T/m <sup>3</sup> ] | $\sigma$<br>[T/m <sup>3</sup> ] | ES [%] | LA | MDE | Mf   | C.A | CV   |
|----------------|----------|-------------------------------|---------------------------------|--------|----|-----|------|-----|------|
| Sr             | 5,7      | 1,463                         | 2,627                           | 78     | -  | -   | 3,05 | -   | -    |
| Sc             | 1,2      | 1,505                         | 2,654                           | 62     | -  | -   | 2,28 | -   | -    |
| g              | 0        | 1,509                         | 2,613                           | -      | 25 |     | -    | 16  | 0,19 |
| G              | 0        | 1,497                         | 2,608                           | -      | 25 | 21  | -    | 25  | 0,20 |

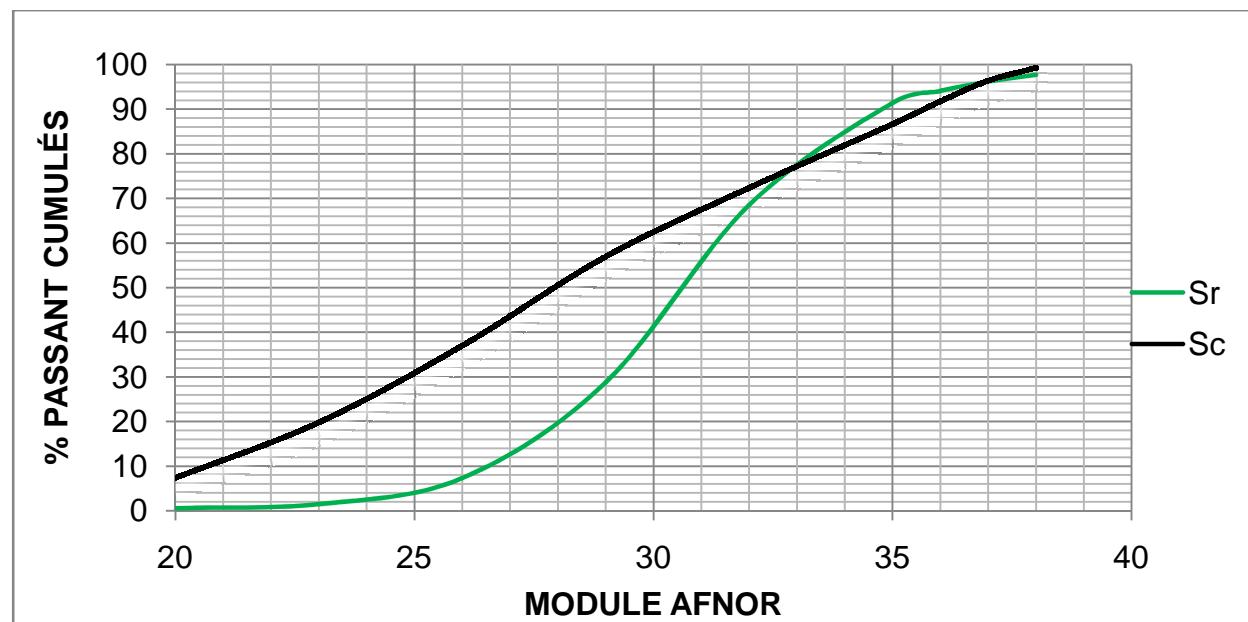
Avec **W** : Teneur en eau,  **$\rho$**  : masse volumique apparente,  **$\sigma$**  : masse volumique absolue, **L.A** : Coefficient de Los Angeles, **MDE** : Micro-Deval en présence d'eau, **E.S** : Equivalente de sable, **C.V** : Coefficient volumétrique, **C.A** : Coefficient d'Applatissement et **Mf** : Module de finesse.

❖ Résultats de l'analyse granulométrique

- Sables Sr et Sc

**Tableau 14: Résultat d'analyse granulométrique des sables de rivière et de carrière**

| MODULE AFNOR | Diamètre des Tamis en [mm] | Sable de rivière Sr |                    | Sable de carrière Sc |                    |
|--------------|----------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
|              |                            | % Refus cumulés     | % Passants cumulés | % Refus cumulés      | % Passants cumulés |
| 38           | 5                          | 2,3                 | 97,7               | 0,7                  | 99,3               |
| 37           | 4                          | 3,8                 | 96,2               | 3,6                  | 96,4               |
| 36           | 3,15                       | 5,9                 | 94,1               | 8,2                  | 91,8               |
| 35           | 2,5                        | 8,6                 | 91,4               | 13,3                 | 86,7               |
| 32           | 1,25                       | 31,5                | 68,5               | 27,6                 | 72,4               |
| 29           | 0,63                       | 71,2                | 28,8               | 43                   | 57                 |
| 26           | 0,315                      | 92,7                | 7,3                | 63                   | 37                 |
| 23           | 0,16                       | 98,5                | 1,5                | 80,2                 | 19,8               |
| 20           | 0,08                       | 99,4                | 0,6                | 92,6                 | 7,4                |

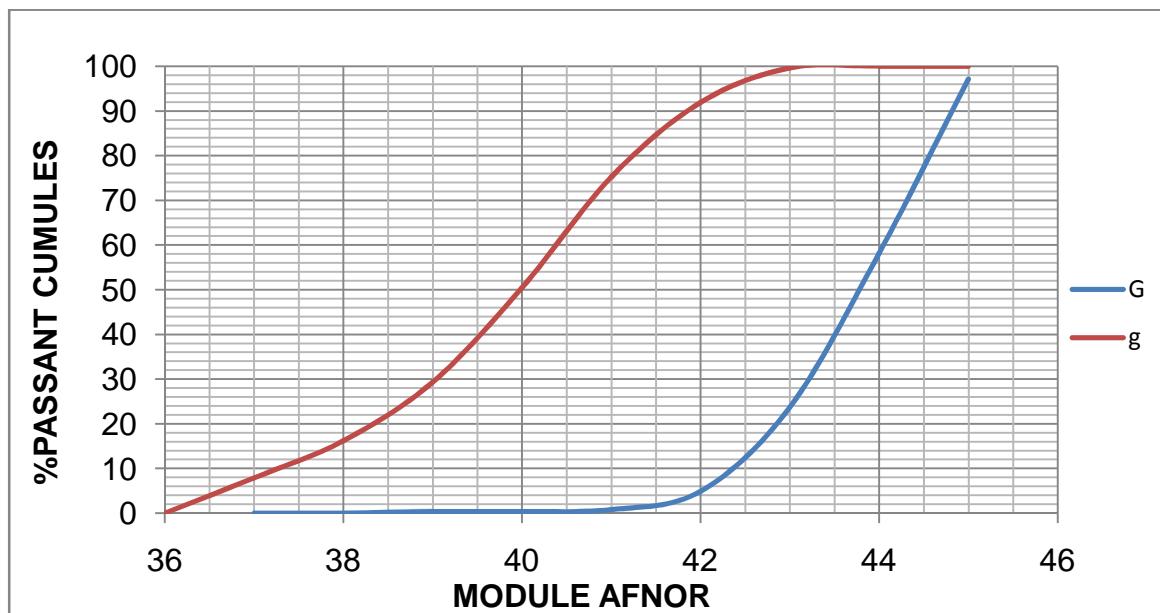


**Figure 6: Courbe d'analyse granulométrique de sable de rivière et de sable de carrière**

- **Gravillon G et g**

**Tableau 15 : Résultat d'analyse granulométrique de gravillon 5/25 et 5/15**

| MODULE AFNOR | Diamètre des Tamis en [mm] | GRAVILLON 5/25 (G) |                    | GRAVILLON 5/15 (g) |                    |
|--------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|              |                            | % Refus cumulés    | % Passants cumulés | % Refus cumulés    | % Passants cumulés |
| 45           | 25                         | 2,9                | 97,1               | 0                  | 100                |
| 44           | 20                         | 41,8               | 58,2               | 0                  | 100                |
| 43           | 16                         | 76,3               | 23,7               | 0,4                | 99,6               |
| 42           | 12,5                       | 95,1               | 4,9                | 8,1                | 91,9               |
| 41           | 10                         | 99,2               | 0,8                | 24,8               | 75,2               |
| 40           | 8                          | 99,6               | 0,4                | 49,6               | 50,4               |
| 39           | 6,3                        | 99,6               | 0,4                | 70,7               | 29,3               |
| 38           | 5                          | -                  | -                  | 83,8               | 16,2               |
| 37           | 4                          | -                  | -                  | 92,1               | 7,9                |
| 36           | 3,15                       | -                  | -                  | 100                | 0                  |



**Figure 7 : Courbe granulométrique de gravillon 5/15 et de gravillon 5/25**

### III. LES FILLERS

#### 1. FILLER CIPOLIN ( $F_1$ )

Le cipolin blanc situé auprès de l'installation de l'usine de fabrication de ciment de la société HOLCIM à Ibity Antsirabe, a été choisi.

Ce cipolin doit être broyé finement par le broyeur à boulets pendant trois jours en continu afin d'obtenir une grande finesse. Le broyeur utilisé est le broyeur à boulets de laboratoire CNRIT. Ce broyeur permet d'avoir des fines de cipolin de diamètre inférieur à 50  $\mu\text{m}$ .

Le filler cipolin pour la composition de notre béton est obtenu par tamisage de ces fines de cipolin sur un tamis d'ouverture 50  $\mu\text{m}$ .

Nous nous intéressons donc sur la partie la plus fine.

Les caractéristiques physiques de cipolin sont donnés dans le tableau 16.

**Tableau 16 : Caractéristiques physiques de filler cipolin ( $F_1$ )**

| PARAMETRES PHYSIQUES           | CARACTERISTIQUES |
|--------------------------------|------------------|
| Couleur                        | Blanc            |
| Densité apparente              | 1,231            |
| Densité absolue                | 2,846            |
| SSB [ $\text{cm}^2/\text{g}$ ] | 3500             |

Dans le premier ouvrage, nous avons fait l'essai de détermination des éléments chimiques majeurs du cipolin qui est récapitulé dans le tableau 17 suivant.

**Tableau 17: Eléments chimiques majeurs dans le cipolin**

| ELEMENTS MAJEURS | $\text{SiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{SO}_3$ | P.F.  |
|------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------|---------------|-------|
| POURCENTAGE %    | 10,75          | 0,1                     | 0,69                    | 50,38        | 0,53         | 0,2                   | 0,13                 | 0,11          | 35,23 |

La pureté du cipolin (titre en  $\text{CaCO}_3$  en %) est de 91,4%.

## 2. FILLER DOLOMIE (F<sub>2</sub>) [12]

Les roches de dolomie sont des roches sédimentaires d'origine externe ou des roches exogènes. Elles se présentent sous forme de couches ou en strates de haute puissance. Ce sont des roches d'origine chimique et biochimique due à la précipitation du sel dissous. Elles appartiennent au groupe des roches calcaires. Elles ont pour formule chimique  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

La dolomie est classée géologiquement parmi les roches détritiques et des roches d'origine hydrothermale (précipitation des eaux marines). Théoriquement une roche ne doit être dénommée dolomie (en sens strict) que si sa teneur en dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) dépasse 90%.

Nous utiliserons la dolomie déjà pulvérisée produite par la société PROCHIMAD provenant de la carrière d'Ihenikenina. Elle est commercialisée sous forme de sac de 50 kg et est désignée « Dolomie D40 ». ( $D \leq 40 \mu\text{m}$ ).

Les caractéristiques physiques et chimiques de filler dolomie sont présentés dans les tableaux 18 et 19 suivants :

**Tableau 18: Caractéristiques physiques de filler dolomie (F<sub>2</sub>)**

| PARAMETRES PHYSIQUES | CARACTERISTIQUES |
|----------------------|------------------|
| Couleur              | Blanche          |
| Densité apparente    | 1,201            |
| Densité absolue      | 2,721            |

**Tableau 19: Caractéristiques chimiques de filler dolomie (F<sub>2</sub>)**

| ELEMENTS MAJEURS [%] | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  |
|----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|
| Dolomie              | 15,6             | 0,2                            | 1,6                            | 30,8 | 22,6 |

#### IV. L'EAU DE GACHAGE [4]

L'eau du robinet de la JIRAMA est utilisée pour le gâchage du béton. L'eau doit être exempte des matières organiques car ces dernières diminuent la résistance mécanique du béton. Les caractéristiques de l'eau de JIRAMA sont données par le tableau 20 suivant.

**Tableau 20 : Caractéristiques de l'eau de JIRAMA**

| CONSTITUANTS                           | CARACTERISTIQUES           |
|--|----------------------------|
| Insolubles                             | 0                          |
| Matières dissoutes [mg/l]              | 0,0004                     |
| Carbonates + bicarbonates alcalins [%] | 0,0028                     |
| Sulfates en SO <sub>3</sub>            | 0                          |
| Sulfites en S [%]                      | 0                          |
| Sucres [%]                             | 0                          |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]      | 0                          |
| NO <sub>3</sub> [%]                    | 0                          |
| Zinc [%]                               | 0                          |
| Acidité en pH                          | 7,20                       |
| Acidité humis                          | Aucune coloration brunâtre |
| Chlorures [mg/l]                       | 3,55                       |
| Ions soufre [%]                        | 0                          |

Source : JIRAMA

#### V. LE SUPERPLASTIFIANT

##### 1. LE SIKA ®VISCOCRETE®TEMPO12

Le Sika®ViscoCrete®Tempo 12 est un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, utilisé pour la fabrication de bétons fluides ou autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés. Ce produit améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Le produit nous a été fourni par la société MADECASSE qui est le distributeur agréé des produits Sika à Madagascar.

Les caractéristiques et les conditions d'application de ce superplastifiant sont exposées dans les tableaux 21 et 22 ci-après.

**Tableau 21: Caractéristiques du superplastifiant sika ®viscocrete®tempo12**

| PARAMETRES PHYSIQUE                         | CARACTERISTIQUES    |
|---|---------------------|
| Aspect                                      | Liquide brun clair  |
| Densité                                     | <b>1,06 ± 0,01</b>  |
| pH  | <b>6 ± 1</b>        |
| Teneur en Na <sub>2</sub> O eq <sup>-</sup> | <b>≤ 1%</b>         |
| Extrait sec                                 | <b>30,2 ± 1,3 %</b> |
| Teneur en ion Cl-                           | <b>≤ 0,1 %</b>      |

Source : Société MADECASSE

**Tableau 22: Condition d'application du superplastifiant sika ®viscocrete®tempo12**

| CONDITIONS D'APPLICATION        | DOSAGE  |
|---------------------------------|---|
| Plage d'utilisation usuelle     | 0,4 à 1,5% du poids du ciment   |
| Plage d'utilisation recommandée | 0,2 à 3% du poids du ciment selon la fluidité et les performances recherchées |

Source : Société MADECASSE

## 2. LE RHEOBUILD 561

Le rhéobuild 561 est aussi un superplastifiant réducteur d'eau. Il est composé de polymères synthétiques spécialement formulés pour conférer au béton des propriétés rhéoplastiques.

Un béton rhéoplastique est un béton fluide présentant à l'essai du cône d'Abra ms un affaissement d'au moins 20 cm ; il s'écoule facilement sans ségrégation et son rapport eau/ciment est la même que celui d'un béton sec de 2,5 cm d'affaissement sans adjuvant.

Le rhéobuild 561 ameliore considerablement les propriétés du béton frais et du béton durci.

Grâce au Rhéobuild 561, le béton rhéoplastique reste maniable pendant environ 3 heures à 20°C et pendant 1 heure à 40°C. La durée exacte du maintien de la maniabilité dépend non seulement de la température, mais aussi du type de ciment utilisé, de la nature des granulats et de la méthode de transport. Pour ce qui concerne le cure de béton, il est recommandé de prévoir des méthodes appropriés, surtout dans le pays à climat sec.

Le superplastifiant Rhéobuild 561 nous a été fourni par la société BATPRO qui est le distributeur agréé des produits BASF à Madagascar.

Les caractéristiques et les conditions d'application de Rhéobuild 561 sont exposées dans les tableaux 23 et 24 ci-après.

**Tableau 23: Caractéristiques du superplastifiant Rhéobuild 561**

| PARAMETRES PHYSIQUE                         | CARACTERISTIQUES |
|---|------------------|
| Aspect                                      | Liquide brun     |
| Densité                                     | 1,17 ± 0,03      |
| pH  | 8,5 ± 1,5        |
| Teneur en Na <sub>2</sub> O eq <sup>-</sup> | ≤ 1%             |
| Teneur en ion Cl-                           | ≤ 0,1 %          |
| Point de congélation                        | -5°C             |

Source : Société BATPRO

**Tableau 24: Condition d'application du superplastifiant Rhéobuild 561**

| CONDITIONS D'APPLICATION    | DOSAGE  |
|-----------------------------|---|
| Plage d'utilisation usuelle | 0,4 à 1,5% du poids du ciment (soit 0,34 L à 1,28 L pour 100 Kg de ciment)  |
| Recommandations             | En cas de gel, réchauffer le produit jusqu'à une température proche de + 30°C et agiter mécaniquement. Proscrire l'agitation par air comprimé |

Source : Société BATPRO

## VI. CONCLUSION

On a donc caractérisé les matières premières que nous utiliserons lors des essais.

Les gravillons concassées 5/15 et 5/25 sont issus d'un concassage d'une roche granitique ayant un coefficient de Los Angeles  $LA = 25$  en classe granulaire 10/25. Ils sont respectivement de la classe 0,19 et 0,20 ( coefficient volumétrique). Les formes sont donc tolérables.

Le sable de rivière utilisé possède un module de finesse égale à 3,04. C'est un sable grossier. Quand au sable de carrière, son module de finesse est de 2,278.

Concernant le ciment CEM II/A- 42,5, ce ciment est à prise et durcissement normaux. Et l'eau de gachage et les adjuvants que nous utilisons sont acceptables pour conféctionner un béton fluide à forte résistance.

## CHAPITRE V: METHODE DE FORMULATION DU BETON FLUIDE

Nous avons tout d'abord formulé un béton témoin (Béton ordinaire) sans ajout des fines et d'adjuvant pour pouvoir comparer ce béton témoin au béton fluide que nous avons formulé après. C'est pour montrer qu'un béton fluide aura une ouvrabilité plus aisée, une résistance mécanique plus élevée et une meilleure durabilité que le béton ordinaire.

### I. FORMULATION DE BETON ORDINAIRE A PARTIR DE LA METHODE DREUX GORISSE

Nous fixerons le dosage en ciment à 350 kg/m<sup>3</sup>.

D'après la lecture de l'abaque (figure 1, page 7), Pour un béton d'affaissement aff = 8 cm et de dosage en ciment fixé à C = 350 kg/m<sup>3</sup>, on a trouvé le rapport C/E = 1,72, plus précisément E/C = 0,58.

#### 1. Estimation de la résistance en compression à 28 jours du BO

Nous pouvons alors estimer la résistance en compression à 28 jours en MPa du béton ordinaire par la relation (1) vue dans l'étude bibliographique.

$$R_C = G \times F_{CE} \left( \frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad (1)$$

La classe vraie du CEMII/A 42,5N est de 54 MPa et les granulats sont de qualité passable donc G = 0,40 (Tableau 3, page 7).

$$R_{C28} = 0,40 \times 54 \times (1,72 - 0,5)$$

$$R_{C28} = 26,35 \approx 26 \text{ MPa}$$

La résistance en compression de béton ordinaire envisageable est de 26 MPa. C'est un béton témoin.

## 2. Calcul de dosage des granulats (pour 1 m<sup>3</sup> de béton)

### 1.1. Détermination des proportions des granulats à partir de la courbe de référence

D'après les relations (2) et (3), le point de brisure **A** a pour cordonnées :

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{D_{\max}}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ mm} \\ y = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_s + K_p \end{array} \right. \quad (2)$$

$$y = 50 - \sqrt{D_{\max}} + K + K_s + K_p \quad (3)$$

La valeur de K est obtenue par la lecture du tableau 5 (page 9).

Dans notre cas, K = 2 (vibration normale et dosage du ciment C= 350 Kg/m<sup>3</sup>).

De plus, la quantité de béton n'est pas pompable donc K<sub>P</sub> = 0

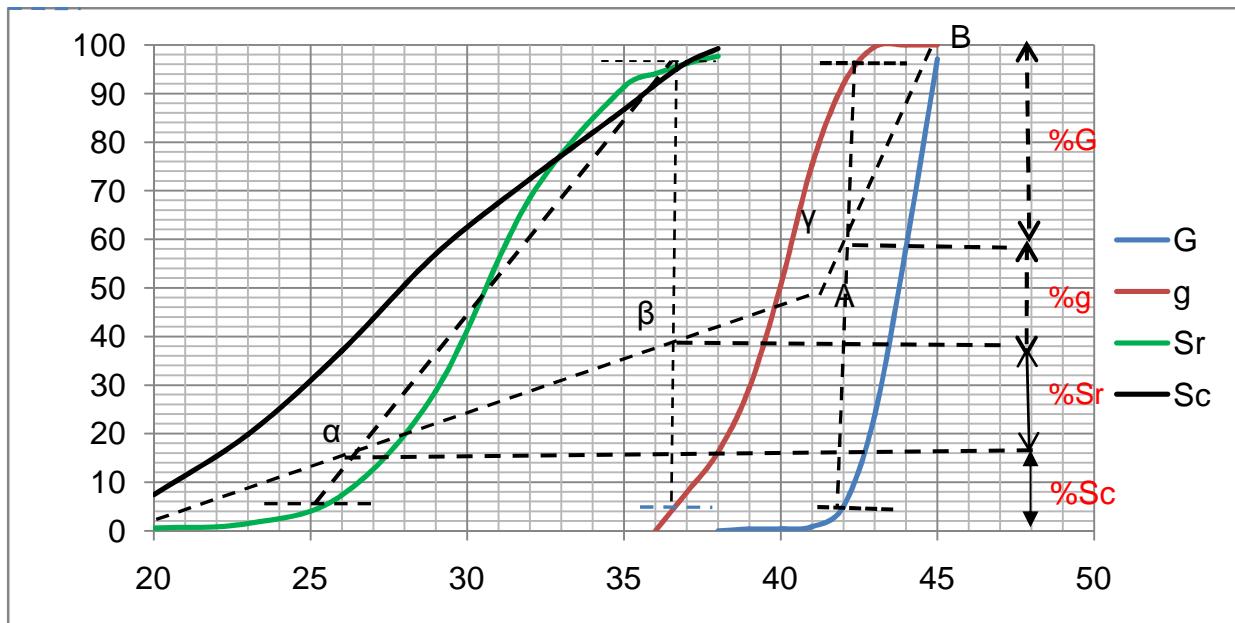
Le module de finesse du sable de rivière est fort (sable grossier), donc K<sub>s</sub> est déterminé par la relation (4)

$$K_s = K_{s_{sr}} = (6M_{f_{sr}} - 15) \quad (4)$$

Le point de brisure a pour coordonnées A [12,5 ; 48,57%] en module A [42 ; 48,57%]

La courbe granulaire de référence est donc tracée par :

- Origine O [0,08, 0%] ou [20,0%]
- Point de brisure A [12,5 ; 48,57%] ou A [42 ; 48,57%]
- Point B [25, 100%] ou B [45, 100%]



**Figure 8: Courbe granulométrique des granulats et courbe de référence – Détermination des pourcentages volumiques des granulats**

D'après la méthode Dreux Gorisse, on déduit d'après cette courbe que notre béton ordinaire est composé en pourcentage volumique de :

- %Sc = 14%
- %Sr = 26%
- %g = 16%
- %G = 44%

### 1.2. Calcul de dosage en Sr, Sc, g et G

On utilise la vibration normale pour la confection du B.O.

$\delta = 0,800$  ( $D_{\max} = 25$  mm avec une vibration normale ; tableau 6, page 11).

Nous calculons alors le dosage de chaque granulats à partir de la relation (5)

$$\text{Dosage de granulat } i \text{ en [Kg]} = (\%G_i) \times \sigma_i (1000\delta - \frac{c}{\sigma_c}) \quad (5)$$

Les dosages de chaque constituant du BO sont donnés dans le tableau 25 suivant.

**Tableau 25: Formule du BO obtenu à partir de la méthode Dreux Gorisse**

| DOSAGE DE CHAQUE CONSTITUANT en [Kg/m <sup>3</sup> ] |             |
|--|-------------|
| C  | 350         |
| E  | 203         |
| Sr   | 491         |
| Sc   | 262         |
| g  | 292         |
| G  | 815         |
| <b>CUMUL TOTAL</b>                                   | <b>2413</b> |

### 3. Résultats et interprétation

Les résultats à l'état frais et à l'état durci du BO sont montrés dans le tableau 26

**Tableau 26: Résultats d'affaissement et des résistance en compression du B.O**

| ST<br>[cm] | AGES        | N° DE<br>L'EPROUVENTE | DENSITE | CHARGE<br>en [KN] | Rc en<br>[MPa] | MOYENNE<br>ARITHMETIQUE<br>DE Rc en [MPa] |
|------------|-------------|-----------------------|---------|-------------------|----------------|---|
| 8,1        | 7<br>Jours  | (1)                   | 2,400   | 395,57            | 19,68          | 19,96                                     |
|            |             | (2)                   | 2,407   | 408,23            | 20,31          |   |
|            |             | (3)                   | 2,411   | 399,59            | 19,88          |   |
|            | 28<br>jours | (4)                   | 2,398   | 517,58            | 25,75          | 26,22                                     |
|            |             | (5)                   | 2,400   | 535,46            | 26,64          |   |
|            |             | (6)                   | 2,403   | 528,03            | 26,27          |   |

On remarque une plus importante dispersion de la resistance en compression du béton aux jeunes âges, à 7 jours ; par contre, à 28 jours, cette dispersion de la resistance est généralement faible.

La resistance obtenue expérimentalement à 28 jours correspond bien à celle prevue par la formule Bolomey. La formule adoptée pour le BO est bonne.

## II. FORMULATION DE BETON FLUIDE A PARTIR DE LA RECOMMANDATION DE L'AFGC [4]

Il n'y a pas de méthodes précises pour formuler un béton fluide mais on peut se référer aux recommandations provisoires de l'AFGC pour déterminer les dosages de chaque constituant de notre BFLHC.

Les gammes de valeurs généralement employées dans 1 m<sup>3</sup> de béton sont issues des ces recommandations et présentées ci-dessous:

- Un rapport Gravillon / Sable (G/S) égale à 1 ;
- Un rapport Eau /Ciment (E/C) relativement faible ;
- Un dosage en ciment plutôt élevé ;
- Une quantité de pâte élevée (de l'ordre de 40% du volume total) ;
- Un pourcentage déterminé en ajouts (ici le Filler cipolin broyé) ;
- Utilisation d'adjuvant superplastifiant ;
- Air occlus de l'ordre de 5% ;

Dans le premier ouvrage, Nous avons trouvé par tatonnement :

- le dosage en superplastifiant ( Sika viscocrète tempo 12) qui est égale à 1,75% du poids de ciment ;
- Le dosage en filler cipolin  $F = 0,55C$  (  $F/C = 0,55$  )

Donc pour continuer à l'étude, on garde les valeurs :

- $C = 350\text{Kg/m}^3$
- $E/C = 0,58$ ,
- $G/S = 1$  ;
- $D_{\text{max}} = 25 \text{ mm}$  ;
- $F/C = 0,55$

$$- Sp = \frac{1,75}{100} C$$

### 1. Dosage en Ciment

Dans le premier ouvrage, le dosage en ciment Manda de classe 42,5 a été fixé à  $C = 400 \text{ kg/m}^3$  de béton.

Dans la suite de notre essai, nous assurons un dosage  $C = 350 \text{ Kg/m}^3$  qui a pour but d'avoir un béton encore de bonne qualité, mais qui coûte moins cher.

### 2. Dosage en Eau

Le dosage en eau est calculé à partir de la valeur de  $E/C = 0,58$ . Le dosage en eau est donc  $E = 203 \text{ L/m}^3$ .

### 3. Dosage en Filler cipolin et en Filler dolomie

Le dosage en fillers joue un rôle important dans la résistance mécanique du béton.

Nous utilisons deux types de fillers ayant des caractéristiques différentes mais nous gardons toujours le dosage  $F_1/C = 0,55$  pour le cipolin et  $F_2/C = 0,55$  pour la dolomie.

### 4. Dosage en superplastifiant

De même, nous gardons le dosage en superplastifiant  $Sp = \frac{1,75}{100} C$

Les dosages du superplastifiant Sika viscocrète tempo 12 et du rhéobuild 561 sont donc respectivement  $Sp_1 = 6 \text{ L/m}^3$  et  $Sp_2 = 6 \text{ L/m}^3$  (on remarque que  $d_{Sp1} = 1,06$  et  $d_{Sp2} = 1,17$ ).

### 5. Dosages en sable et en gravillon

Les dosages en sable et en gravillon ne sont trouvés qu'après celui des autres constituants. Ils ont la même valeur car on fixe le rapport G/S à 1.

Les quantités de ciment, d'eau, de superplastifiant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par de sable et de gravillon de manière à obtenir un mètre cube de béton, ce qui donne la relation suivante :

$$V_{Sr} + V_{Sc} + V_G + V_g + V_E + V_C + V_{Sp} + V_a + V_F = 1000 \text{ L (1m}^3 \text{ du béton) (38).}$$

Le volume d'air  $V_a$  du béton est environ de 5 % (récommandations AFGC),

donc  $V_a = 50 \text{ L}$

On connaît que  $V_i = \frac{m_i}{\rho_i}$  et  $S_r = S_c = G = g$  ( $G/S = 1$ ) donc l'équation (38) devient

$$\frac{S_r}{\sigma_{Sr}} + \frac{S_r}{\sigma_{Sc}} + \frac{S_r}{\sigma_G} + \frac{S_r}{\sigma_g} + \frac{E}{\sigma_E} + \frac{C}{\sigma_C} + \frac{S_p}{\sigma_{Sp}} + \frac{F}{\sigma_F} + V_a = 1000 \quad (39)$$

Or le volume des pâtes de béton est

$$V_{Pates} = \frac{E}{\sigma_E} + \frac{C}{\sigma_C} + \frac{S_p}{\sigma_{Sp}} + \frac{F}{\sigma_F} + V_a \quad (40)$$

en  $[\text{L}/\text{m}^3]$

$$\text{donc } S_r \left( \frac{1}{\sigma_{Sr}} + \frac{1}{\sigma_{Sc}} + \frac{1}{\sigma_G} + \frac{1}{\sigma_g} \right) = 1000 - V_{pates} \quad (41)$$

Le dosage en sable et en gravillon est déterminé par

$$S_r = S_c = g = G = \frac{1000 - V_{pates}}{\left( \frac{1}{\sigma_{Sr}} + \frac{1}{\sigma_{Sc}} + \frac{1}{\sigma_G} + \frac{1}{\sigma_g} \right)} \quad (42)$$

### III. RECAPITULATION DE FORMULATION DU BFL DANS LE PREMIER OUVRAGE

Dans le premier ouvrage nous avons utilisé le filler cipolin et le sika viscocrète tempo 12. La formule et le résultat de l'essai 4 dans ce premier ouvrage sont recapitulés dans les trois tableaux suivants :

**Tableau 27:** Récapitulation de formule du BFL<sub>1</sub> de l'essai 4 dans le premier ouvrage

| CONSTI-TUANTS | SABLES [Kg/m <sup>3</sup> ] | GRAVILLONS [Kg/m <sup>3</sup> ] | CIMENT CEM II-A-42,5N [Kg/m <sup>3</sup> ] | FILLER CIPOLIN [Kg/m <sup>3</sup> ] | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 [L/m <sup>3</sup> ] | EAU [L/m <sup>3</sup> ] |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------|
| DOSAGE        | 672                         | 672                             | 400  | 220                                 | 7  | 220                     |

**Tableau 28:** Récapitulation de valeur d'affaissement, de rétrait, de porosité et de compacité de l'essai 4 dans le premier ouvrage

| REFERENCES | ST [cm] | Rétrait R[%] | Porosité P[%] | Compacité C[%] |
|------------|---------|--------------|---------------|----------------|
| VALEURS    | 18      | 0,17         | 4,34          | 95,66          |

**Tableau 29:** Récapitulation des valeurs des resistances en compression de l'essai 4 dans le premier ouvrage

| RESISTANCE EN COMPRESSION | VALEURS |
|---------------------------|---------|
| Rc 7 [MPa]                | 20,98   |
| Rc 14 [MPa]               | 32,20   |
| Rc 28 [MPa]               | 35,75   |

Nous avons trouvé selon l'essai 4, un béton fluide à haute compacité d'affaissement égale à 18 cm, de faible retrait et d'une resistance en compression de l'éprouvette en béton Rc = 35,75 MPa à 28 jours.

#### IV. FORMULATION DES BFL EN UTILISANT LES DEUX FILLERS ET LES DEUX SUPERPLASTIFIANTS.

##### 1. BFL<sub>2</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de sika viscocrete tempo 12

Nous essayerons de produire un béton fulide de mélange de gavillons 5/15, 5/25, de sable de rivière, de sable de carrière, de filler cipolin, de superplastifiant sika viscocrete tempo 12 et d'eau.

Le dosage en ciment est diminué à 350 Kg/m<sup>3</sup>.

La nouvelle formule de ce béton à fin des essais de vérification en laboratoire des caractéristiques physiques des constituants est donnée par le tableau 30 ci- après.

**Tableau 30: Formule du BFL<sub>2</sub> en utilisant le filler cipolin et le sika viscocrete tempo 12**

| CONSTI-TUANTS | SABLES [Kg/m <sup>3</sup> ] |     | GRAVILLONS [Kg/m <sup>3</sup> ] |     | CIMENT CEM II-A-42,5N [Kg/m <sup>3</sup> ] | FILLER CIPOLIN [Kg/m <sup>3</sup> ] | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 [L/m <sup>3</sup> ] | EAU [L/m <sup>3</sup> ] |
|---------------|-----------------------------|-----|---------------------------------|-----|--|-------------------------------------|--|-------------------------|
| DOSAGE        | Sr                          | Sc  | G                               | g   | C  | F <sub>1</sub>                      | Sp <sub>1</sub>                              | E                       |
|               | 368                         | 368 | 368                             | 368 | 350  | 193                                 | 6  | 203                     |

**Tableau 31: Résultas d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL<sub>2</sub>.**

| REFERENCES | ST [ cm] | Rétrait R[%] | Porosité P[%] | Compacité C[%] |
|------------|----------|--------------|---------------|----------------|
| VALEURS    | 16       | 0,10         | 4,1           | 95,9           |

**Tableau 32: Résultats des resistances en compression du BFL<sub>2</sub>.**

| AGES        | N° DE<br>L'EPROUVENTE | DENSITE | CHARGE<br>en [KN] | Rc en<br>[MPa] | MOYENNE<br>ARITHMETIQUE<br>DE Rc en [MPa] |
|-------------|-----------------------|---------|-------------------|----------------|---|
| 7<br>Jours  | (1)                   | 2,298   | 399,39            | 19,87          | 19,86                                     |
|             | (2)                   | 2,300   | 404,21            | 20,11          |   |
|             | (3)                   | 2,360   | 414,06            | 20,60          |   |
| 28<br>jours | (4)                   | 2,387   | 674,36            | 33,55          | 33,87                                     |
|             | (5)                   | 2,395   | 690,23            | 34,34          |   |
|             | (6)                   | 2,295   | 677,97            | 33,73          |   |

## 2. BFL<sub>3</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de sika viscocrète tempo 12

Le cipolin est remplacé par la dolomie. La formule est présentée dans le tableau 33 suivant :

**Tableau 33: Formule de BFL<sub>3</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de sika viscocrète tempo 12**

| CONSTI-<br>TUANTS | SABLES<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | GRAVILLONS<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | CIMENT<br>CEM II-<br>A-42,5N<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | FILLER<br>DOLOMIE<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | SIKA<br>VISCOCRETE<br>TEMPO 12<br>[L/m <sup>3</sup> ] | EAU<br>[L/m <sup>3</sup> ] |
|-------------------|--------------------------------|-----|------------------------------------|-----|--|---|---|----------------------------|
| DOSAGE            | Sr                             | Sc  | G                                  | g   | C  | F <sub>2</sub>                            | Sp <sub>1</sub>                                       | E                          |
|                   | 366                            | 366 | 366                                | 366 | 350  | 193                                       | 6   | 203                        |

Les résultats obtenus à partir de cette formule sont présentés dans les tableaux suivants

**Tableau 34: Résultats d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL<sub>3</sub>.**

| REFERENCE | ST cm | Rétrait R[%] | Porosité P[%] | Compacité C[%] |
|-----------|-------|--------------|---------------|----------------|
| VALEURS   | 19    | 0,16         | 4,7           | 95,3           |

**Tableau 35: Résultats des résistances en compression et de la densité du BFL<sub>3</sub>**

| AGES        | N° DE<br>L'EPROUVENTE | DENSITE | CHARGE<br>en [KN] | Rc en<br>[MPa] | MOYENNE<br>ARITHMETIQUE<br>DE Rc en [MPa] |
|-------------|-----------------------|---------|-------------------|----------------|---|
| 7<br>Jours  | (1)                   | 2,277   | 363,61            | 18,09          | 18,88                                     |
|             | (2)                   | 2,312   | 390,74            | 19,44          |   |
|             | (3)                   | 2,270   | 384,31            | 19,12          |   |
| 28<br>jours | (4)                   | 2,263   | 586,32            | 29,17          | 29,58                                     |
|             | (5)                   | 2,299   | 614,26            | 30,56          |   |
|             | (6)                   | 2,303   | 583,50            | 29,03          |   |

### 3. BFL<sub>4</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de rhéobuild 561.

Nous changeons le superplastifiant Sika viscocrète tempo 12 par le Rhéobuild 561. Le filler, les sables et les gravillons restent toujours les mêmes.

La formule du béton et les résultats sont représentés dans les tableaux suivants.

**Tableau 36:** Formule du BFL<sub>4</sub> en utilisant le filler cipolin et le rhéobuild 561.

| CONSTI-TUANTS | SABLES<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | GRAVILLONS<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | CIMENT<br>CEM II-A-42,5N<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | FILLER<br>CIPOLIN<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | RHEOBUILD<br>561<br>[L/m <sup>3</sup> ] | EAU<br>[L/m <sup>3</sup> ] |
|---------------|--------------------------------|-----|------------------------------------|-----|--|---|---|----------------------------|
| DOSAGE        | Sr                             | Sc  | G                                  | g   | C  | F <sub>1</sub>                            | Sp <sub>2</sub>                         | E                          |
|               | 368                            | 368 | 368                                | 368 | 350  | 193                                       | 6                                       | 203                        |

**Tableau 37:** Résultats d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL<sub>4</sub>.

| REFERENCE | ST cm | Retrait<br>R[%] | Porosité<br>P[%] | Compacité<br>C[%] |
|-----------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
| VALEURS   | 18    | 0,07            | 3,6              | 96,4              |

**Tableau 38:** Résultats des résistances en compression et de la densité de BFL<sub>4</sub>.

| AGES        | N° DE<br>L'EPROUVENTE | DENSITE | CHARGE<br>en [KN] | Rc en<br>[MPa] | MOYENNE<br>ARITHMETIQUE<br>DE Rc en [MPa] |
|-------------|-----------------------|---------|-------------------|----------------|---|
| 7<br>Jours  | (1)                   | 2,383   | 384,71            | 19,14          | 19,67                                     |
|             | (2)                   | 2,306   | 412,85            | 20,54          |   |
|             | (3)                   | 2,397   | 388,33            | 19,32          |   |
| 28<br>jours | (4)                   | 2,351   | 606,02            | 30,15          | 29,79                                     |
|             | (5)                   | 2,349   | 596,97            | 29,70          |   |
|             | (6)                   | 2,311   | 593,55            | 29,53          |   |

#### 4. BFL<sub>5</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de rhéobuild 561

Les tableaux suivants renseignent la formule et les résultats de ce BFL<sub>5</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de réobuild 561.

**Tableau 39: Formule du BFL<sub>5</sub> en utilisant le filler dolomie et le rhéobuild 561.**

| CONSTI-TUANTS | SABLES<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | GRAVILLONS<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] |     | CIMENT<br>CEM II-A-42,5N<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | FILLER<br>DOLOMIE<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | RHEOBUILD<br>561<br>[L/m <sup>3</sup> ] | EAU<br>[L/m <sup>3</sup> ] |
|---------------|--------------------------------|-----|------------------------------------|-----|--|---|---|----------------------------|
| DOSAGE        | Sr                             | Sc  | G                                  | g   | C  | F <sub>2</sub>                            | Sp <sub>2</sub>                         | E                          |
|               | 366                            | 366 | 366                                | 366 | 350  | 193                                       | 6                                       | 203                        |

**Tableau 40: Résultats d'affaissement, de retrait, de porosité et de compacité du BFL<sub>5</sub>.**

| REFERENCE | ST cm | Rétrait<br>R[%] | Porosité<br>P[%] | Compacité<br>C[%] |
|-----------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
| VALEURS   | 21    | 0,17            | 3,8              | 95,2              |

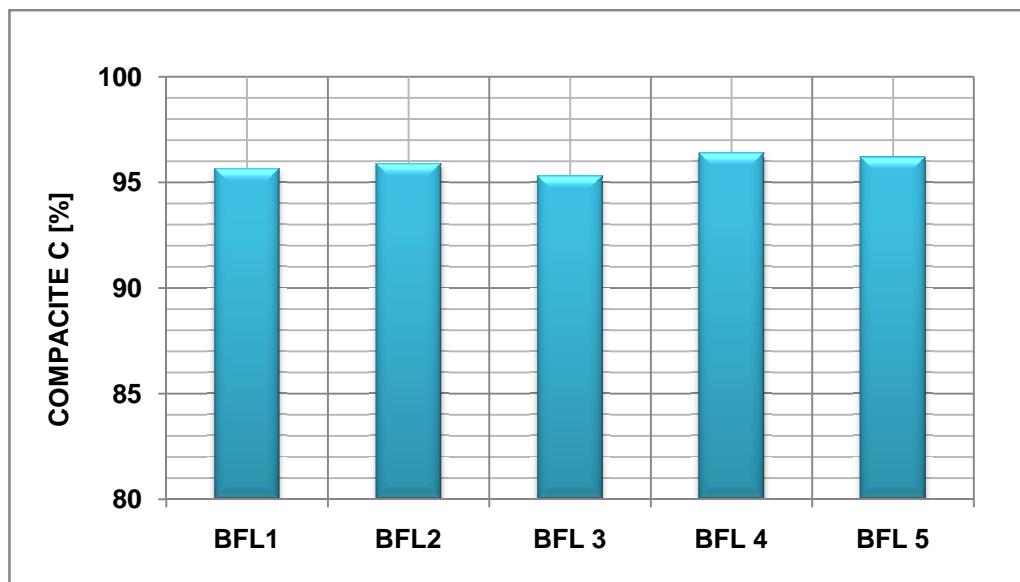
**Tableau 41: Résultats des résistances en compression et de la densité du BFL<sub>5</sub>.**

| AGES        | N° DE<br>L'EPROUVENTE | DENSITE | CHARGE<br>en [KN] | Rc en<br>[MPa] | MOYENNE<br>ARITHMETIQUE<br>DE Rc en [MPa] |
|-------------|-----------------------|---------|-------------------|----------------|---|
| 7<br>Jours  | (1)                   | 2,356   | 390,95            | 19,45          | 19,22                                     |
|             | (2)                   | 2,297   | 384,51            | 19,13          |   |
|             | (3)                   | 2,315   | 383,31            | 19,07          |   |
| 28<br>jours | (4)                   | 2,391   | 526,82            | 26,21          | 26,71                                     |
|             | (5)                   | 2,386   | 540,29            | 26,88          |   |
|             | (6)                   | 2,351   | 523,20            | 26,03          |   |

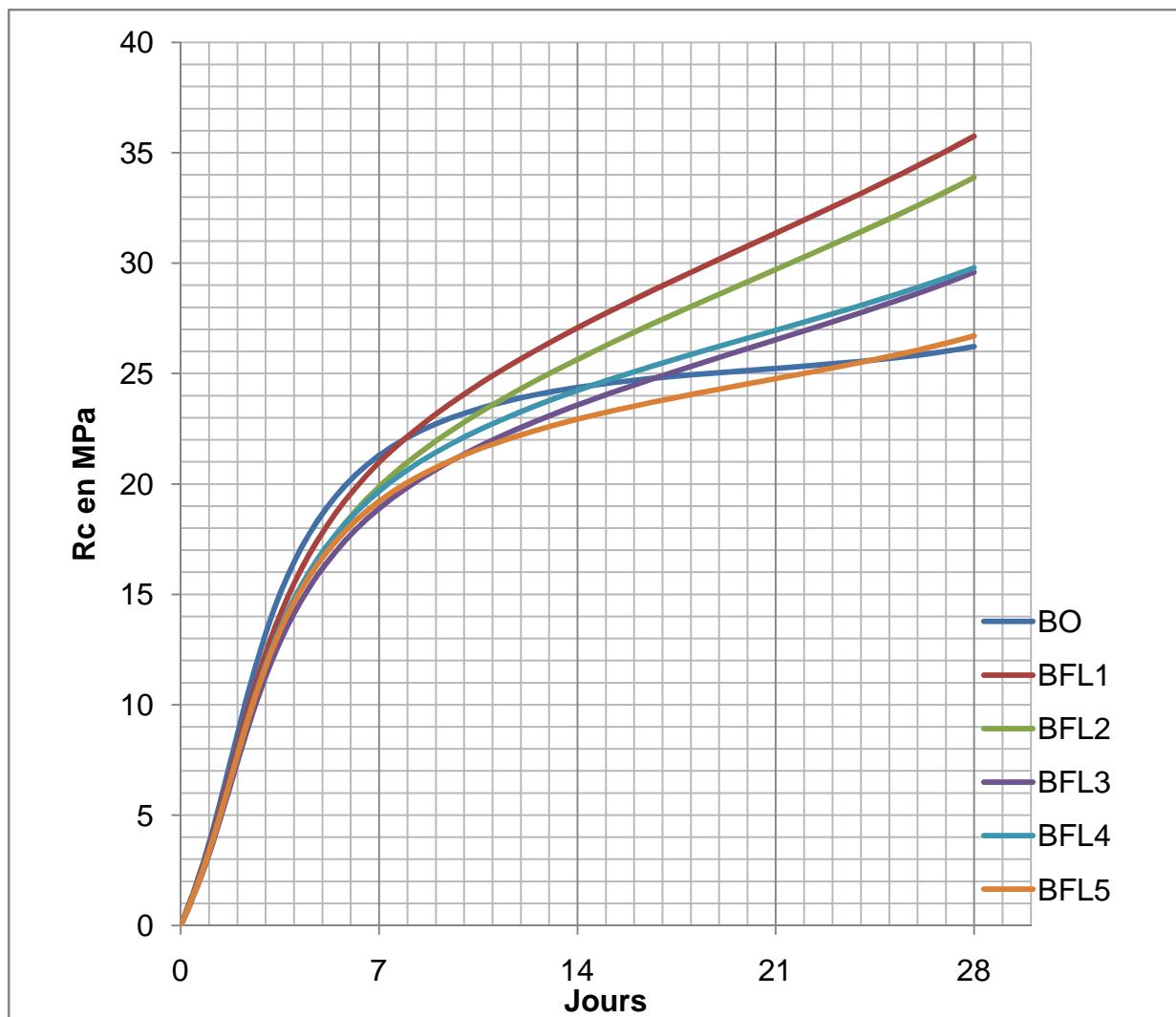
On peut illustrer à l'aide des figures suivantes les résultats des affaissements, des compacités et des résistances en compressions des ces BFL et de BO.



**Figure 9: Affaissements de BO et des BFL**



**Figure 10: Compacités des BFL**



**Figure 11: Evolution des resistances en compression de BO et des BFL.**

### 5. Discussion et interprétation

Nous avons remarqué qu'à 7 jours, les resistances en compression des différents bétons fluides sont inférieures au béton ordinaire : pour le BO, l'objectif primordial est la résistance mécanique à la compression, par contre pour les BFL, la priorité est donnée au comportement du béton à l'état frais et la résistance à la compression fait l'objet d'une vérification. Mais à 28 jours, ces BFL présentent des resistances en compression élevées par rapport au BO.

Pour le BFL<sub>1</sub> de l'essai 4 du premier ouvrage. L' utilisation de dosage en ciment plus élevé ( $C= 400 \text{ Kg/m}^3$ ) nous a permis d' obtenir un béton fluide dont l'affaissement est  $ST=18 \text{ cm}$  avec une résistance en compression  $Rc = 35,75 \text{ MPa}$  à l'âge de 28 jours. Lors de sa formulation, l'ajout de sika viscocrète tempo 12 lui permet de s'écouler facilement sans ségrégation. Le BFL<sub>1</sub> a une bonne compacité.

Ces résultats respectent les normes, mais nous avons constaté que le dosage en ciment est élevé. C'est pourquoi, nous avons formulé des autres BFL avec un dosage en ciment  $C = 350 \text{ Kg/m}^3$ .

Pour les bétons fluides ( BFL<sub>2</sub>, BFL<sub>3</sub>, BFL<sub>4</sub>, BFL<sub>5</sub>) de dosage en ciment  $C = 350 \text{ Kg / m}^3$ , Les essais mécaniques à 7 jours et à 28 jours sur les éprouvettes de béton donnent des résultats satisfaisants mais un peu faible par rapport à celle du BFL<sub>1</sub> dans le premier ouvrage. C'est tout à fait normal car le dosage en ciment est diminué.

Lors de malaxage de ces bétons fluides, on observe que le mélange est visqueux et les gros grains sont entraînés vers la périphérie avec l'ensemble du béton. Les résultats d'affaissement au cône d'Abraams de ces bétons sont acceptables : ces bétons sont classés comme des bétons de type S<sub>4</sub> ( $16\text{cm} \leq ST \leq 21\text{cm}$  ) selon la norme NF EN 206-1.

Concernant la porosité de ces BFL, on remarque qu'aucun bulle d'air n'est pas trouvée lors de l'immersion des éprouvettes dans l'eau froide. Ces BFL sont des bétons de faible porosité, de faible retrait. Ils ont une compacité très élevée. C'est pourquoi, nous les appelons BFLHC.

L' utilisation de filler cipolin permet d'obtenir de meilleurs résultats sur la résistance en compression par rapport au filler dolomie. Tel est le cas du BFL<sub>4</sub> et du BFL<sub>5</sub> : Le BFL<sub>4</sub>, a une bonne résistance en compression par rapport au BFL<sub>5</sub>.

Le superplastifiant rhéobuild 561 ne donne qu'une grande durée de maniabilité du béton (BFL<sub>5</sub>). Il joue le rôle de réducteur d'eau mais il agit très peu sur les résistances mécaniques du béton : la résistance en compression du BFL<sub>2</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de sika viscocrète tempo 12 est supérieure à la résistance en compression du BFL<sub>4</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de rhéobuild 561. Par contre le BFL<sub>4</sub> ( ST = 18 cm) présente une meilleure maniabilité par rapport au BFL<sub>2</sub> (ST = 16 cm).

Pour avoir des bétons fluides ayant des résistances en compression plus élevées, il est donc préférable d'utiliser le Sika viscocrète tempo 12 comme superplastifiant réducteur d'eau et le filler cipolin au lieu de filler dolomie comme fines d'ajout du béton car avec cet adjuvant et ce filler, les bétons sont maniables et plus résistants en compression ( BFL<sub>1</sub>, BFL<sub>2</sub>, BFL<sub>3</sub>, BFL<sub>4</sub>).

## CHAPITRE VI: APROCHE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

### I. ETUDE DES COÛTS POUR CONFECTIONER 1m<sup>3</sup> DE BO ET DES BFL

Pour mettre en valeur notre recherche, nous allons comparer les coûts des confections des différents bétons notamment le BO, le BFL<sub>1</sub> du premier ouvrage, le BFL<sub>2</sub>, le BFL<sub>3</sub> et le BFL<sub>4</sub>.

Nous étudions dans les tableaux suivants les coûts des matières premières et les coûts de main d'œuvre de ces différents bétons (en Ariary).

**Tableau 42: Calcul du prix pour confectioner 1m<sup>3</sup> de BO**

| COUT DES MATIERES PREMIERES                            |                |                    |                       |          |                 |
|--|----------------|--------------------|-----------------------|----------|-----------------|
| DESIGNATION  | UNITE          | PRIX UNITAIRE [Ar] | DOSAGE/m <sup>3</sup> | QUANTITE | SOUS TOTAL [Ar] |
| Ciment CEM II/A 42,5 N HOLCIM                          | Sac de 50kg    | 26000              | 350                   | 7        | 182000          |
| Sable de rivière                                       | m <sup>3</sup> | 22000              | 491                   | 0,491    | 10802           |
| Sable de carrière                                      | m <sup>3</sup> | 15000              | 262                   | 0,262    | 3930            |
| Gravillon concassé 5/15                                | m <sup>3</sup> | 30000              | 292                   | 0,292    | 8760            |
| Gravillon concassé (5/25)                              | m <sup>3</sup> | 30000              | 815                   | 0,815    | 24450           |
| Total  |                |                    |                       |          | 229942          |
| COUT DE MAIN D'ŒUVRE ET D'ENERGIE                      |                |                    |                       |          |                 |
| Ouvriers   | 1              | 55000              |                       | 3        | 165000          |
| Energie de vibration                                   | —              | 50000              | —                     | —        | 50000           |
| Total  |                |                    |                       |          | 215000          |
| COUT TOTAL POUR CONFECTIONNER 1m <sup>3</sup> DU BETON |                |                    |                       |          |                 |
| Total cout des matières premières                      |                |                    |                       |          | 229942          |
| Total cout de main d'œuvre                             |                |                    |                       |          | 215000          |
| TOTAL  |                |                    |                       |          | 444942          |

**Tableau 43: Calcul du prix pour confectionner 1m<sup>3</sup> de BFL<sub>1</sub>**

| COUT DES MATIERES PREMIERES                           |                |                    |                       |          |                 |
|---|----------------|--------------------|-----------------------|----------|-----------------|
| DESIGNATION   | UNITE          | PRIX UNITAIRE [Ar] | DOSAGE/m <sup>3</sup> | QUANTITE | SOUS TOTAL [Ar] |
| Ciment CEM II/A 42,5 N HOLCIM                         | Sac de 50kg    | 26000              | 400                   | 8        | 208000          |
| Sable de rivière                                      | m <sup>3</sup> | 22000              | 672                   | 0,672    | 13440           |
| Gravillon concassé (5/12,5)                           | m <sup>3</sup> | 30000              | 672                   | 0,672    | 20160           |
| Sika VISCOCRETE Tempo12                               | L              | 9000               | 7                     | 7        | 63000           |
| Total   |                |                    |                       |          | 304600          |
| COUTS DE MAIN D'OUVRE                                 |                |                    |                       |          |                 |
| Coût du Cipolin                                       | Kg             | 250                | 220                   | 220      | 55000           |
| Broyage de cipolin                                    | Kg             | 240                | 220                   | 220      | 52800           |
| Ouvriers  | 1              | 55000              | —                     | 1        | 55000           |
| Total   |                |                    |                       |          | 162800          |
| COUT TOTAL POUR CONFECTONNER 1m <sup>3</sup> DU BETON |                |                    |                       |          |                 |
| Total coût des matières premières                     |                |                    |                       |          | 304600          |
| Total coût de main d'œuvre                            |                |                    |                       |          | 162800          |
| TOTAL   |                |                    |                       |          | 467400          |

**Tableau 44: Calcul du prix pour confectioner 1m<sup>3</sup> de BFL<sub>2</sub>**

| COUT DES MATIERES PREMIERES                           |                |                      |                       |          |                       |
|---|----------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| DESIGNATION   | UNITE          | PRIX<br>UNITAIRE[Ar] | DOSAGE/m <sup>3</sup> | QUANTITE | SOUS<br>TOTAL<br>[Ar] |
| Ciment CEM II/A<br>42,5 N HOLCIM                      | Sac de<br>50kg | 26000                | 350                   | 7        | 182000                |
| Sable de rivière                                      | m <sup>3</sup> | 22000                | 368                   | 0,368    | 8096                  |
| Sable de<br>carriere                                  | m <sup>3</sup> | 15000                | 368                   | 0,368    | 5520                  |
| Gravillon<br>concassé 5/15                            | m <sup>3</sup> | 30000                | 368                   | 0,368    | 11040                 |
| Gravillon<br>concassé (5/25)                          | m <sup>3</sup> | 30000                | 368                   | 0,368    | 11040                 |
| Sika Viscocrete<br>tempo 12                           | L              | 9000                 | 6                     | 6        | 54000                 |
| Total   |                |                      |                       |          | 271696                |
| COUT DE MAIN D'ŒUVRE ET D'ENERGIE                     |                |                      |                       |          |                       |
| Coût de Cipolin                                       | kg             | 250                  | 193                   | 193      | 48250                 |
| Coût de broyage<br>de cipolin                         | Kg             | 240                  | 193                   | 193      | 46320                 |
| Ouvriers  | 1              | 55000                | —                     | 1        | 55000                 |
| Total   |                |                      |                       |          | 149570                |
| COUT TOTAL POUR CONFECTONNER 1m <sup>3</sup> DU BETON |                |                      |                       |          |                       |
| Total cout des matières premières                     |                |                      |                       |          | 269696                |
| Total cout de main d'œuvre                            |                |                      |                       |          | 149570                |
| TOTAL   |                |                      |                       |          | 419266                |

**Tableau 45: Calcul du prix pour confectioner 1m<sup>3</sup> de BFL<sub>3</sub>**

| <b>COUT DES MATIERES PREMIERES</b>                          |                |                   |                       |          |                 |
|---|----------------|-------------------|-----------------------|----------|-----------------|
| DESIGNATION   | UNITE          | PRIX UNITAIRE[Ar] | DOSAGE/m <sup>3</sup> | QUANTITE | SOUS TOTAL [Ar] |
| Ciment CEM II/A 42,5 N HOLCIM                               | Sac de 50kg    | 26000             | 350                   | 7        | 182000          |
| Sable de rivière  | m <sup>3</sup> | 22000             | 366                   | 0,366    | 8052            |
| Sable de carrière   | m <sup>3</sup> | 15000             | 366                   | 0,366    | 5490            |
| Gravillon concassé 5/15                                     | m <sup>3</sup> | 30000             | 366                   | 0,366    | 10980           |
| Gravillon concassé (5/25)                                   | m <sup>3</sup> | 30000             | 366                   | 0,366    | 10980           |
| Sika Viscocrete tempo 12                                    | L              | 9000              | 6                     | 6        | 54000           |
| <b>Total</b>  |                |                   |                       |          | <b>271502</b>   |
| <b>COUT DE MAIN D'ŒUVRE ET D'ENERGIE</b>                    |                |                   |                       |          |                 |
| Cout de dolomie   | Kg             | 500               | 193                   | 193      | 96500           |
| Ouvriers  | 1              | 55000             | —                     | 1        | 55000           |
| <b>Total</b>  |                |                   |                       |          | <b>151500</b>   |
| <b>COUT TOTAL POUR CONFECTONNER 1m<sup>3</sup> DU BETON</b> |                |                   |                       |          |                 |
| <b>Total coût des matières premières</b>                    |                |                   |                       |          | <b>271502</b>   |
| <b>Total coût de main d'œuvre</b>                           |                |                   |                       |          | <b>151500</b>   |
| <b>TOTAL</b>  |                |                   |                       |          | <b>423002</b>   |

**Tableau 46: Calcul du prix pour confectioner 1m<sup>3</sup> de BFL<sub>4</sub>**

| <b>COUT DES MATIERES PREMIERES</b>                           |                |                   |                       |          |                 |
|--|----------------|-------------------|-----------------------|----------|-----------------|
| DESIGNATION  | UNITE          | PRIX UNITAIRE[Ar] | DOSAGE/m <sup>3</sup> | QUANTITE | SOUS TOTAL [Ar] |
| Ciment CEM II/A 42,5 N HOLCIM                                | Sac de 50kg    | 26000             | 350                   | 7        | 182000          |
| Sable de rivière   | m <sup>3</sup> | 22000             | 368                   | 0,368    | 8096            |
| Sable de carrière  | m <sup>3</sup> | 15000             | 368                   | 0,368    | 5520            |
| Gravillon concassé 5/15                                      | m <sup>3</sup> | 30000             | 368                   | 0,368    | 11040           |
| Gravillon concassé (5/25)                                    | m <sup>3</sup> | 30000             | 368                   | 0,368    | 11040           |
| Rhéobuild 561  | L              | 8000              | 6                     | 6        | 48000           |
| <b>Total</b>   |                |                   |                       |          | <b>265696</b>   |
| <b>COUT DE MAIN D'ŒUVRE ET D'ENERGIE</b>                     |                |                   |                       |          |                 |
| Cout de Cipolin  | kg             | 250               | 193                   | 193      | 48250           |
| Cout de broyage de cipolin                                   | Kg             | 240               | 193                   | 193      | 46320           |
| Ouvriers   | 1              | 55000             | —                     | 1        | 55000           |
| <b>Total</b>   |                |                   |                       |          | <b>149570</b>   |
| <b>COUT TOTAL POUR CONFECTIONNER 1m<sup>3</sup> DU BETON</b> |                |                   |                       |          |                 |
| <b>Total coût des matières premières</b>                     |                |                   |                       |          | <b>265696</b>   |
| <b>Total coût de main d'œuvre</b>                            |                |                   |                       |          | <b>149570</b>   |
| <b>TOTAL</b>   |                |                   |                       |          | <b>415266</b>   |

## II. DISCUSSION

Il réssort de cette étude que :

- Les BFL apportent en générale une économie de main d'œuvre : sans énergie de vibration et une réduction des nombres des ouvriers.
- Pour le BFL<sub>1</sub>, les coûts totales des matières premières et de main d'œuvre sont élevés de 5% par rapport au BO.
- Les coûts pour confectionner 1m<sup>3</sup> des autres BFL (BFL<sub>2</sub>, BFL<sub>3</sub>, BFL<sub>4</sub>) diminuent par rapport à celle du BO : une diminution de 5,8% pour le BFL<sub>2</sub>, 4,9% pour BFL<sub>3</sub>, 6,7% pour le BFL<sub>4</sub>.

Mais n'oublions pas aussi que les BFL présentent de nombreux avantages sur les résistances mécaniques, sur la durabilité et sur les qualités physiques. On peut tirer une conclusion que notre projet est rentable. Il est donc envisageable de conféctionner un béton plus durable et plus facile à mettre en œuvre avec des coûts moins chers par rapport au BO.

## III. ENVIRONNEMENT ET BETONS FLUIDES

L'étude d'impact sur l'environnement consiste essentiellement à réduire au maximum l'ensemble des incidences physiques et socio-économiques d'une exploitation sur son environnement. La fabrication du béton n'a aucun impact grave sur le milieu humain

### 1. L'Impact sociaux

La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- une diminution du bruit sur site,
- une diminution de la pénibilité des tâches,
- une réduction des risques d'accident.

L'analyse industrielle du matériau béton doit être complétée par les considérations sur le développement durable sous ses différents aspects :

## 2. Le bilan de CO<sub>2</sub>

Le ciment est une source importante de gaz à effet de serre à cause de l'énergie nécessaire pour le fabriquer et aussi par le CO<sub>2</sub> libéré par le calcaire lorsqu'il est décomposé par calcination.

La fabrication du béton lui-même ne nécessite que peu d'énergie car le malaxage se fait à froid. De plus, les matériaux utilisés étant, pour des raisons économiques, le plus possible des matériaux locaux, la réduction du transport de ces matériaux minimise l'impact sur les gaz à effet de serre. Enfin, l'utilisation d'additions peut aussi permettre de réduire le bilan de CO<sub>2</sub> du béton.

## 3. L'analyse du cycle de vie

Elle permet une vision globale de l'utilisation du matériau béton. Par exemple, pour un bâtiment, le bilan doit prendre en compte les matériaux utilisés pour le construire, mais aussi l'énergie nécessaire pour le chauffer, le climatiser, l'éclairer...

De plus, en fin de vie du bâtiment, les techniques de séparation des matériaux s'améliorant, le béton sera de plus en plus recyclé.

L'utilisation des BFL, diminue la pénibilité du travail et les dangers liés à la mise en place du béton, élimine le bruit pour les ouvriers et pour les riverains. Les eaux de lavage générées par la fabrication du béton sont recyclées. Enfin, le béton est lui-même un matériau permettant de confiner, d'enrober et de stocker les déchets.

## CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, suite à l'étude dans le premier ouvrage, une étude plus ambitieuse sur la formulation des bétons fluides à haute compacités nous a été montrée.

L'utilisation d'autres composantes du béton comme la dolomie, le cipolin, de nouveaux granulats, les superplastifiants ainsi que la diminution du dosage en ciment différencient les BFL objets de cette étude de ceux du premier ouvrage.

Des essais en laboratoire sur les caractérisations des matières premières ont été effectuées dont le but est de connaître leur nature, leurs caractéristiques physiques et / ou chimiques. En effet, Nous avons montré que les gravillons concassés 5/15 et 5/25 sont issus d'un concassage d'une roche granitique de meilleur qualité. Leurs formes sont tolérables et ils ont une Coefficient de Los Angeles L.A = 25. Le sable de rivière est un sable grossier ( $Mf_{Sr} = 3,04$ ) et le sable de carrière présente beaucoup des éléments fins ( $Mf_{Sc} = 2,278$ ).

La diminution du dosage en ciment à  $C = 350 \text{ Kg/m}^3$ , permet d'obtenir des résultats sur les résistances en compression des BFL satisfaisants mais un peu plus faible par rapport à celle du BFLHC<sub>1</sub> du premier ouvrage. Ces BFL (BFL<sub>2</sub>, BFL<sub>3</sub>, BFL<sub>4</sub>) sont classés comme bétons de type S<sub>4</sub> ( $16\text{cm} \leq ST \leq 21\text{cm}$ ) selon la norme NF EN 206-1. En générale, les BFL obtenus à partir de filler cipolin présentent des résistances en compression plus élevées par rapport aux BFL obtenus à partir de filler dolomie. Le superplastifiant rhéobuild 561, par rapport au sika viscocrète tempo 12, permet d'obtenir une plus longue durée de maniabilité mais est moins efficace du point de vue gain de résistance.

De plus, les coûts pour la confection des nouveaux BFL (BFL<sub>2</sub>, BFL<sub>3</sub>, BFL<sub>4</sub>) sont moins faible par rapport au BO et au BFL<sub>1</sub>. Les BFL apportent une économie d'énergie de vibration et une réduction de nombre d'ouvrier.

Bref, les résultats sur les nouvelles formulations des BFL que nous avons réalisés ouvrent une nouvelle fenêtre sur l'optimisation des BFL et aident à leur diffusion auprès de tous les acteurs de la construction en béton.

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] Herman RAZAFINDRAVELO**, « les bétons auto plaçant : influence du types de granulat, d'adjuvant et d'ajout », Thèse de doctorat, Science des Matériaux ; Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ; 2013. 32p ; 72p.
- [2] DREUX G., FESTA J.**, « Nouveau guide du béton et de ses constituants », Eyrolles, Paris, 1998, 3p.
- [3] ANDRIAMPARANY Flavien Razafiarison** ; Informatisation de la formulation du béton inspiré de méthode de FAURY; Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention de diplôme d'Ingénieur en Science des Matériaux ; Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ; Université d'Antananarivo ; Octobre 2006, 60p.
- [4] Faury J.** « Le béton », 2p.
- [5] FARES Hanaa** ; Propriété mécanique et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée ” ; Thèse de Doctorat, Décembre 2009, 50p.
- [6] RASOLOFOHARITIANA Rado Nantenaina**, ” Contribution à l'étude des Bétons autoplaçants”; Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention de diplôme d'Ingénieur en Science des Matériaux ; Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ; Université d'Antananarivo ; 2009. 40p.
- [8] Béton et constituants du béton ; Spécifications et méthodes d'essais du béton, tome 1 ; Recueil de norme Françaises 1995. AFNOR. 4 è édition.**
- [10] ANDRIANANDRASANA Fanomezantsoa Alain**, Contribution à l'Etude de béton fluide à haute compacité : Utilisation de fine d'ajout de type calcaire, Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention de diplôme d'Ingénieur en Génie Chimique, 2013, 44p.
- [11] ANDRIANASOLOMAHEFA Rovatiana Salema** , Etude géotechnique en laboratoire: analyse, interprétation, et utilisations des résultats ; 2005 ; 21p,22p
- [12] RAMANTSOA Felix**, « Projet de rationalisation de l'exploitation de dolomie de Ihenikenina », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Mines École Supérieur Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo, 1988

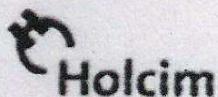
## REFERENCE WEBOGRAPHIE

[7] [http://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton\\_automobile%C3%A7ant](http://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton_automobile%C3%A7ant)

[9] <https://cours.etsmtl.ca/TCH025/Notes%20de%20cours/Hiver%202012/Cours-B%C3%A9tonETS.pdf>.

## **ANNEXES**

## Annexe 1 : Fiche technique du ciment CEM II/A 42,5n Holcim



Holcim (Madagascar)  
1 Bis Rue P. Lumumba  
Tsaratanana  
101 Antananarivo

Tél: + 261 20 22 239 78  
Fax: + 261 20 22 563 98  
holcim.madagascar@holcim.com

### Fiche Produit Manda

Fabriqué à Madagascar (Terminal Toamasina)

Mise à jour le 8/02/2013

### Ciment composé CEM II/A-V 42,5 N

#### Composition (en %)

| Constituant                   |          | Régulateur de prise |     |
|-------------------------------|----------|---------------------|-----|
| Clinker (K).....              | 95 - 100 | Gypse.....          | 4,5 |
| Constituants secondaires..... | 0 - 5    |                     |     |
| Cendres volantes (V)          | 6 - 20   |                     |     |

#### Composition Chimique du ciment (valeurs moyennes en %)

| Usine de production<br>Terminal Toamasina | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | PoF  | RI    |
|---|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------|-------|
|   | 22,74            | 7,67                           | 3,37                           | 55,27 | 2,77 | 2,15            | 3,57 | 14,63 |
| Valeurs exigées :<br>NM 031-1 *           |                  |                                |                                |       |      | ≤ 3,5%          |      | 1146  |

#### Caractéristiques physiques (valeurs moyennes)

| Usine de production<br>terminal<br>Toamasina | Résistances mécaniques<br>mortier<br>(MPa) |       |                  | Finesse<br>Blaine<br>(cm <sup>2</sup> /g) | Début de prise<br>(mn) | Stabilité<br>(mm) |
|--|--|-------|------------------|---|------------------------|-------------------|
|  | 2j   | 7j    | 28j              |   |                        |                   |
|  | 19,80                                      | 31,95 | 47,05            | 3400                                      | 169                    | 0                 |
| Valeurs exigées :<br>NM 031-1 *              | ≥ 10                                       |       | ≥ 42,5 et ≤ 62,5 |   | ≥ 60                   | ≤ 10              |

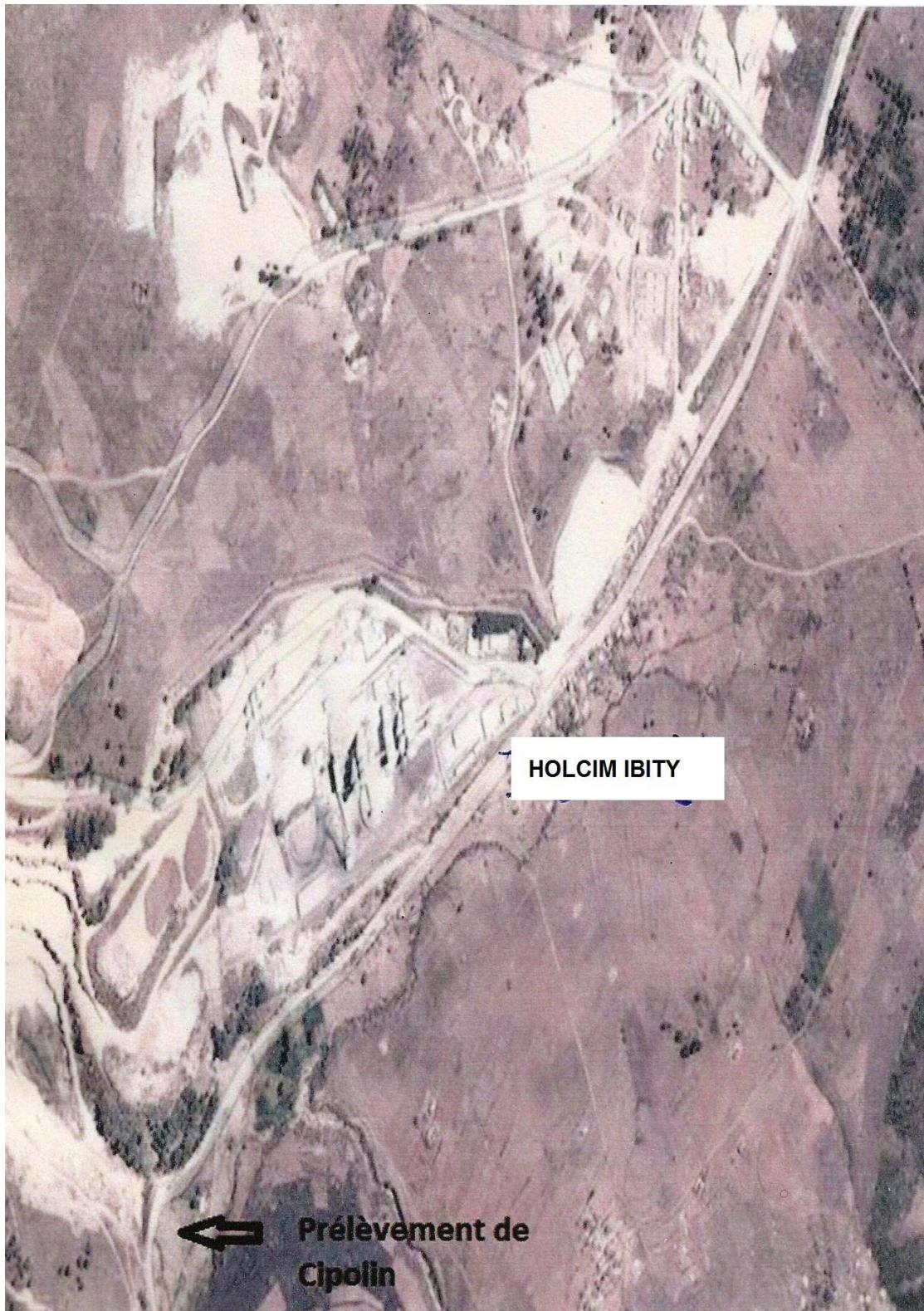
\* NM 031-1 Normes malagasy édition de janvier 2010

• Laboratoire Holcim (Madagascar) agréé par le LNTPB pour la période novembre 2012 – Novembre 2013

**Annexe 2 : Carrière PK 18 RN4 de la société SCB S.A Madagascar**



**Annexe 3: Site de prélèvement de cipolin**



## **Annexe 4: Fiche technique de la dolomie d 40**

### **Prochimad**

### **PROCHIMAD**

Tel : 261 20 22 230 08

Fax : 261 20 22 550 45

E-mail : fdv.prochimad@blue-line.mg  
8,Rue Ranizanabololoma Antananarivo  
B.P. 37145

Antananarivo 101  
MADAGASCAR

### **FICHE TECHNIQUE**

## **CARBONATE DOUBLE DE CALCIUM ET DE MAGNESEIUM (DOLOMIE)**

#### **Formule**

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

#### **Caractéristiques physiques:**

|                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Aspect             | : | Poudre fine                              |
| Couleur            | : | Blanche                                  |
| Densité            | : | 2,7                                      |
| Refus au tamis 350 | : | 0,1% ( 30/40 microns)                    |
| Granulométric      | : | 40 microns, 20 microns, 10 microns, fine |

#### **Composition chimique :**

|                         |   |                                   |
|-------------------------|---|-----------------------------------|
| Perte au feu            | : | 28 % dont<br>$\text{CO}_2$ : 20 % |
| Humidité                | : | 0,1 %                             |
| $\text{SiO}_2$          | : | 15,6 %                            |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | : | 0,2 %                             |
| $\text{TiO}_2$          | : | - traces                          |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | : | 1,6 %                             |
| $\text{MgO}$            | : | 22,6 %                            |
| $\text{CaO}$            | : | 30,8 %                            |
| pH                      | : | 9 - 9,2                           |

**Alcalinité** : équivaut à 1,7g de NaOH par Kg de dolomie maximale.

**Utilisation** : Charge pour peinture

**Conditionnement** : Sac de 50 kg  
(Marquage sac : D40, D20, D10, DF)

## Annexe 5: Fiche technique du superplastifiant viscocrète tempo12

### SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.



**Présentation** SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

**Domaines d'application**

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplâçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplâçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

**Caractères généraux** SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.



#### Caractéristiques

**Aspect** Liquide brun clair

**Conditionnement**

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

**Stockage** Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

**Conservation** 1 an en emballage intact

#### Données techniques

**densité**  $1,06 \pm 0,01$

**pH**  $6 \pm 1$

**Teneur en Na<sub>2</sub>O Eq.**  $\leq 1 \%$

**Extrait sec**  $30,2 \pm 1,3 \%$

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Teneur en ions Cl <sup>-</sup>  | ≤ 0,1 %   |
| <b>Conditions d'application</b> |   |
| Dosage                          | Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.<br>Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.  |
| <b>Mise en œuvre</b>            | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.  |
| <b>Précautions d'emploi</b>     | En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.<br>Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur Internet <a href="http://www.sika.fr">www.sika.fr</a>  |
| <b>Mentions légales</b>         | Produit réservé à un usage strictement professionnel<br>Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.<br>«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.» |

## Annexe 6 : Fiche technique de superplastifiant rhéobuild 561

# RHEOBUILD® 561

### Superplastifiant, haut réducteur d'eau



EN 934.2

Marque NF  
cf. Rp NF 085

Conforme à ASTM C 494 - 79 types B, D et G, UNI 7102, 7104-75 et 8145.

#### Description

Le RHEOBUILD 561 est composé de polymères synthétiques spécialement formulés pour conférer au béton des propriétés rhéoplastiques.

Un béton rhéoplastique est un béton fluide présentant à l'essai du cône d'Abra ms un affaissement d'eau moins 20 cm ; il s'écoule facilement sans ségrégation et son rapport eau/ciment est le même que celui d'un béton sec de 2,5 cm d'affaissement sans adjuvant.

#### Domaines d'applications

Le RHEOBUILD 561 améliore considérablement les propriétés du béton frais et du béton durci.

Le RHEOBUILD 561 a déjà été utilisé pour les ouvrages suivants :

- Radiers de fondation pour centrales nucléaires, turbogénérateurs, laminoirs, chantiers navals.
- Béton pour bétonnières portées quand le trajet dure plus d'une heure.
- Ouvrages et structures coulés quand le béton est pompé sur une distance supérieure à 200 m, ou à une grande hauteur.
- Ouvrages en béton armé et précontraint dans des régions où la température dépasse normalement 40°C, avec une humidité relative faible.

#### Propriétés

- Béton de masse.
- Béton prêt-à-l'emploi.
- Transport sur de longues distances.
- Béton pompé.
- Béton pompé sur de longues distances.
- Mise en place dans les climats chauds.

Permet d'obtenir :

- Des pointes thermiques minimales.
- Un écoulement maximum du béton pendant de longues périodes.
- Une grande facilité de pompage.

- Un retard de prise et une plus grande durée de maniabilité.
- Une grande fiabilité.
- Des résistances élevées à la rupture.
- Une bonne imperméabilité.
- Une bonne durabilité.

#### Caractéristiques

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| • Aspect                            | liquide           |
| • Couleur                           | brun              |
| • Masse volumique à + 20°C (MA 002) | 1,17 g/cm³ ± 0,03 |
| • Teneur en chlorure (MA 004)       | < 0,1 %           |
| • pH (MA 003)                       | 8,5 ± 1,5         |
| • Point de congélation (ITM 3005)   | - 5°C             |

#### Maniabilité

Grâce au RHEOBUILD 561, le béton rhéoplastique reste maniable pendant environ 3 heures à 20°C et pendant 1 heure à 40°C. La durée exacte du maintien de la maniabilité dépend non seulement de la température, mais aussi du type de ciment utilisé, de la nature des granulats et de la méthode de transport. Pour ce qui concerne la cure du béton, il est recommandé de prévoir des méthodes appropriées, surtout dans les pays à climat sec.

#### Mode d'emploi

L'incorporation peut se faire :

- Soit au cours de la fabrication du béton, dans ce cas le RHEOBUILD 561 est introduit dans le malaxeur en même temps que l'eau de gâchage. L'effet réducteur d'eau ou fluidifiant est optimal si l'adjuvant est ajouté lorsque le béton est déjà mouillé avec 50 à 70% de l'eau de gâchage ;
- Soit sur le chantier, dans le cas d'un béton prêt-à-l'emploi : ajouter le RHEOBUILD 561 directement dans le camion malaxeur, avant déversement, et remalaxer à grande vitesse à raison d'une minute/m³ (avec un minimum de 5 mn).

# RHEOBUILD® 561

## Recommandations

En cas de gel, réchauffer le produit jusqu'à une température proche de + 30°C et agiter mécaniquement. Proscire l'agitation par air comprimé.

## Dosage

### Plage d'utilisation

0,4 % à 1,5 % du poids de ciment soit 0,34 L à 1,28 L pour 100 kg de ciment.

## Conditionnement

Container de 1000 L, fût de 210 L, bidon de 10 L ou vrac.

## Stockage

Conserver le RHEOBUILD 561 dans des conditions de températures supérieures à + 5°C.

MBT France a couvert sa responsabilité civile tant en exploitation qu'après livraison de ses produits par une police d'assurance souscrite auprès de la Compagnie GERLING FRANCE. Les garanties de cette police sont complétées par la police "parapluie" responsabilité civile du Groupe V.I.A.G. souscrite auprès des sociétés suisses d'assurances WINTERTHUR et de GERLING KONZERN de Zürich.

*Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci.*

*L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Pour toute précision complémentaire, nous vous conseillons de prendre contact avec l'une de nos agences MBT France.*

## MBT France

Z.I. Petite Montagne Sud  
10, rue des Cévennes  
Lisses  
91017 Evry Cedex

Tél. : 01 69 47 50 00  
Fax : 01 60 86 06 32

Site Internet : <http://www.mbt.fr>

*Pour toute information complémentaire, consulter notre fiche de données de sécurité sur :*

- **Minitel** : 08 36 05 10 12
- ou sur notre site Internet



Construisons l'Avenir Ensemble

**SKW-MBT**  
CONSTRUCTION CHEMICALS

## Annexe 7 : Description des normes relative au béton

|   |   |
|---|---|
| <b>NF P 18 – 305 décembre 1981</b>                                | <b>Béton prêt à l'emploi préparé en usine</b>   |
| <b>XPP 18 – 305 août 1996</b>                                     | <b>Béton (béton prêt à l'emploi)</b>  |
| <b>NF 18 – 400 décembre 1981</b>                                  | <b>Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques</b>                                     |
| <b>NF 18 – 404 décembre 1981</b>                                  | <b>Essais d'étude de convenance et de contrôle confection et conservations des éprouvettes.</b> |
| <b>NF 18 – 405 décembre 1981</b>                                  | <b>Essais d'information confection et conservations des éprouvettes</b>                         |
| <b>NF 18 – 406 décembre 1981</b>                                  | <b>Essais de compression</b>  |
| <b>NF 18 – 407 décembre 1981</b>                                  | <b>Essais de flexion</b>  |
| <b>NF 18 – 408 décembre 1981</b>                                  | <b>Essais de fendage</b>  |
| <b>NF 18 – 421 décembre 1981</b>                                  | <b>Mise en place par microtable vibrante</b>  |
| <b>NF 18 – 422 décembre 1981</b>                                  | <b>Mise en place par aiguille vibrante</b>  |
| <b>NF 18 – 423 décembre 1981</b>                                  | <b>Mise en place par piquage</b>  |
| <b>NF 18 – 451 décembre 1981</b>                                  | <b>Essai d'affaisement</b>  |
| <b>NF 18 – 416 décembre 1981</b><br><b>cylindriques</b>           | <b>Surfacage au soufre des éprouvettes</b>  |
| <b>P 18 – 416 septembre 1994</b>                                  | <b>Surfacage au soufre des éprouvettes</b>  |
| <b>P 08 – 500 Mai 1982</b><br><b>verbal d'essai des matériaux</b> | <b>Condition générale minimales d'un procés</b>   |
| <b>P 18 – 417 Décembre 1989</b>                                   | <b>Mesure de la dureté de surface par rebondissement à l'aide d'un scléromètre.</b>             |
| <b>P 18 – 418 Décembre 1989</b>                                   | <b>Auscultation sonique</b>   |
| <b>P 18 – 415 Décembre 1994</b>                                   | <b>Boîte à sable pour essai de compression des éprouvettes cylindriques</b>                     |
| <b>XP P 18 – 303 Aout 1999</b>                                    | <b>Eau de gachage pour béton</b>  |
| <b>XP P 18 – 303 Mai 1941</b>                                     | <b>Eau de gachage pour béton</b>  |

## TABLE DES MATIERES

|   |      |
|---|------|
| REMERCIEMENTS .....   | i    |
| SOMMAIRE .....  | iii  |
| LISTE DES TABLEAUX .....  | iv   |
| LISTE DES FIGURES .....   | vi   |
| LISTE DES PHOTOS .....  | vii  |
| LISTE DES ANNEXES .....   | viii |
| LISTE DES ABREVIATIONS .....                                    | ix   |
| NOTATIONS ET SYMBOLES .....                                     | x    |
| INTRODUCTION GENERALE .....                                     | 1    |
| PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....                          | 2    |
| CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES BETONS .....                    | 3    |
| I. LES COMPOSANTS DU BETON .....                                | 3    |
| II. FORMULATION DE BETON ORDINAIRE PAR LA METHODE DREUX GORISSE |      |
| 4   |      |
| 1. Données de base.....   | 4    |
| 1.1. Nature de l'ouvrage .....                                  | 4    |
| 1.2. Ouvrabilité désirée .....                                  | 5    |
| 1.3. Diamètre maximale des granulats ( $D_{max}$ ).....         | 5    |
| 2. Dosage en ciment.....  | 6    |
| 2.1. Dosage en eau .....  | 8    |
| 2.2. Tracé de la courbe granulaire de référence.....            | 8    |
| 2.3. Coefficient de compacité ( $\delta$ ) .....                | 10   |
| 2.4. Dosage des granulats.....                                  | 11   |
| CHAPITRE II: GÉNÉRALITÉS SUR LES BÉTONS FLUIDES .....           | 13   |
| I. PROPRIETE DES BETONS FLUIDES .....                           | 13   |
| II. INFLUENCE DES PARAMETRES DE FORMULATION SUR LES PROPRIETES  |      |
| A L'ETAT FRAIS DU BETON FLUIDE .....                            | 14   |
| 1. Influence des superplastifiants .....                        | 14   |
| 2. Influence des fines d'ajout .....                            | 14   |
| 3. Influence de volume de pate élevé .....                      | 16   |
| 4. Influence de volume de gravillons .....                      | 16   |

|  |    |
|--|----|
| III. MISE EN OEUVRE DES BETONS FLUIDES.....                              | 16 |
| IV. QUELQUES OUVRAGES REALISES AVEC DES BETONS FLUIDES A MADAGASCAR..... | 17 |
| CHAPITRE III: LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES BETONS FLUIDES.....      | 19 |
| I. ESSAI D'AFFAISSEMENT AU CONE D'ABRAMS OU SLUMP TEST .....             | 19 |
| 1. Materiel utilisé.....   | 19 |
| 2. Mode opératoire .....   | 20 |
| II. ESSAI DE RETRAIT .....   | 21 |
| IV. RESISTANCES SUR EPROUVENTES .....                                    | 22 |
| 1. L'essai de compression .....  | 22 |
| 1.1. Principe de l'essai .....   | 22 |
| 1.2. Spécifications .....  | 22 |
| 1.2.1. Eprouvettes.....  | 22 |
| 1.2.2. Confection et conservation des éprouvettes.....                   | 23 |
| 1.2.3. Moulage et serrage.....   | 24 |
| 1.2.4. Machine d'écrasement.....   | 26 |
| 1.3. Opérations préparatoires.....                                       | 26 |
| 1.3.1. Précautions contre la dessiccation .....                          | 26 |
| 1.3.2. Détermination du poids volumique de l'éprouvette .....            | 26 |
| 1.4. Conduite de l'essai .....   | 26 |
| 2. L'essai de traction .....   | 27 |
| PARTIE II : ETUDES EXPERIMENTALES.....                                   | 29 |
| INTRODUCTION .....   | 30 |
| CHAPITRE IV: CARACTERATION DES MATIERES PREMIERES.....                   | 31 |
| I. LE CIMENT CEM II/A –V- 42,5 .....                                     | 31 |
| 1. Caractéristiques physiques.....                                       | 31 |
| 2. Caractéristiques mécaniques .....                                     | 31 |
| 3. Caractéristiques chimiques.....                                       | 32 |
| 3.1. Composition .....   | 32 |
| II. LES GRANULATS .....  | 35 |
| 1. Teneur en eau (%W) .....  | 35 |
| 2. Masse volumique apparente ( $\rho$ ) .....                            | 35 |
| 3. Masses volumiques absolues ( $\sigma$ ) .....                         | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.1. Masses volumiques absolues des sables .....  | 36 |
| 3.1.2. Masse volumique absolue des gravillons .....                                       | 38 |
| 4. Equivalent de sable .....  | 38 |
| 5. Coefficient de Los Angeles du gravillon .....  | 40 |
| 6. Essai d'usure micro – deval .....  | 42 |
| 6.1. But et principe de l'essai .....   | 42 |
| 6.2. Appareillages .....  | 43 |
| 6.3. Matériau soumis à l'essai .....  | 44 |
| 6.4. Mode opératoire .....  | 44 |
| 7. Analyses granulométriques .....  | 45 |
| 8. Module de finesse (Mf) .....   | 47 |
| 9. Coefficients d'aplatissement (CA) et coefficients volumétrique (CV) .....              | 48 |
| 10. Résultats .....   | 49 |
| III. LES FILLERS .....  | 52 |
| 1. FILLER CIPOLIN ( $F_1$ ) .....   | 52 |
| 2. FILLER DOLOMIE ( $F_2$ ) .....   | 53 |
| IV. L'EAU DE GACHAGE .....  | 54 |
| V. LE SUPERPLASTIFIANT .....  | 54 |
| 1. LE SIKA ®VISCOCRETE®TEMPO12 .....  | 54 |
| 2. LE RHEOBUILD 561 .....   | 55 |
| VI. CONCLUSION .....  | 57 |
| CHAPITRE V: METHODE DE FORMULATION DU BETON FLUIDE .....                                  | 58 |
| I. FORMULATION DE BETON ORDINAIRE A PARTIR DE LA METHODE DREUX GORISSE .....              | 58 |
| 1. Estimation de la résistance en compression à 28 jours du BO .....                      | 58 |
| 2. Calcul de dosage des granulats (pour 1 m <sup>3</sup> de béton) .....                  | 59 |
| 1.1. Détermination des proportions des granulats à partir de la courbe de référence ..... | 59 |
| 1.2. Calcul de dosage en Sr, Sc, g et G .....   | 60 |
| 3. Résultats et interprétation .....  | 61 |
| II. FORMULATION DE BETON FLUIDE A PARTIR DE LA RECOMMANDATION DE L'AFGC .....             | 62 |
| 1. Dosage en Ciment .....   | 63 |

|  |    |
|--|----|
| 2. Dosage en Eau.....  | 63 |
| 3. Dosage en Filler cipolin et en Filler dolomie .....                                     | 63 |
| 4. Dosage en superplastifiant .....  | 63 |
| 5. Dosages en sable et en gravillon.....   | 63 |
| III. RECAPITULATION DE FORMULATION DU BFL DANS LE PREMIER OUVRAGE .....                    | 64 |
| IV. FORMULATION DES BFL EN UTILISANT LES DEUX FILLERS ET LES DEUX SUPERPLASTIFIANTS.....   | 66 |
| 1. BFL <sub>2</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de sika viscocrète tempo 12.....  | 66 |
| 2. BFL <sub>3</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de sika viscocrète tempo 12 ..... | 67 |
| 3. BFL <sub>4</sub> obtenu à partir de filler cipolin et de rhéobuild 561. ....            | 68 |
| 4. BFL <sub>5</sub> obtenu à partir de filler dolomie et de rhéobuild 561 .....            | 70 |
| 5. Discussion et interprétation .....  | 72 |
| CHAPITRE VI: APROCHE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE.....                                   | 74 |
| I. ETUDE DES COÜTS POUR CONFCTIONER 1m <sup>3</sup> DE BO ET DES BFL .....                 | 74 |
| II. DISCUSSION.....  | 79 |
| III. ENVIRONNEMENT ET BETONS FLUIDES.....  | 79 |
| 1. L'Impact sociaux.....   | 79 |
| 2. Le bilan de CO <sub>2</sub> .....   | 80 |
| 3. L'analyse du cycle de vie.....  | 80 |
| CONCLUSION GENERALE .....  | 81 |
| REFERENCE BIBLIOGRAPHIE.....   | 82 |
| REFERENCE WEBOGRAPHIE .....  | 83 |
| ANNEXES .....  | A  |

AUTEUR : ANDRIANANDRASANA Fanomezantsoa Alain

TITRE : « CONTRIBUTION A L'ETUDE DES BETONS FLUIDES – FORMULATION ET CARACTERISATION»

Nombre de pages : 83

Nombre de tableaux : 43

Nombre de figures : 11

Nombre de photos : 6

### RESUME

Ce travail est un complément sur les études que nous avons effectuées sur les bétons fluides à hautes compacités. L'utilisation des matières premières comme les gravillons de même nature mais de classes granulaires différentes, les fillers, les sables de rivière et de carrière et les superplastifiants ainsi que la diminution du dosage en ciment différencient les nouveaux BFL à ceux du premier ouvrage. Avec ces matières premières, nous pouvons formuler des nouvelles gammes des bétons fluides ayant des résistances en compression un peu plus basse, mais acceptables, et ils sont très rentable économiquement.

Cette étude offre de belles perspectives pour minimiser les coûts des BFLHC, en mettant en exergue les qualités du béton non seulement sur sa résistance en compression mais aussi sur sa maniabilité et sa durabilité.

Mots clés : Superplastifiants, Cipolin, Fillers, dolomie, béton fluide, Formulation, Résistance en compression, Compacité, Retrait, Maniabilité, Durabilité.

### ABSTRACT

This work complements the studies we have conducted on the fluid concretes with high compactness. The use of raw materials such as gravel similar but different granular classes, fillers, river sand and career and superplasticizers and the cement content of decline differ in the new BFL to those of the first book. With these materials, we can develop new ranges of fluid concretes with compressive strengths somewhat lower but acceptables, and they are very economically viable.

This study has great potential to minimize the costs of BFL , highlighting the qualities of concrete not only on its strength in compression but also its maneuverability and durability.

Keys World : Superplastizer, marbles, Fillers, dolomite, fluid concrete, Formulation, compressive strength, compactness, withdrawal, maneuverability, durability.

ADRESSE DE L'AUTEUR : Lot VM 38 Ter Androndrakely

TEL : 0327444477

e-mail : alaintsoa@yahoo.fr

RAPPORTEUR : Professeur RANAIVONIARIVO Velomanantsoa Gabriely