

Etudes Des Influences Du Filler Calcaire Sur La Maniabilité Et Le Retrait Du Béton

[Studies Of The Influence Of Limestone Filler On The Workability And Shrinkage Of Concrete]

Dimbimalala Mavoniaina RATSARAHASINA¹, Hery Mikaela RATSIMBAZAFY², Guy Joel ROBISONARISON³, Huchard Paul Bertin RANDRIANIRAINY⁴, Jean de Dieu RAMAROSON⁵

^{1,2,3,5} Département Matériaux et Génie Civil

Centre National de Recherche Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar

⁴ Département Energétique

Centre National de Recherche Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar



Résumé – L’objectif de cette étude est de déterminer l’influence du filler calcaire sur la maniabilité, la résistance mécanique et le retrait du béton. Les fillers calcaires sont parmi les additions minérales utilisées pour améliorer les caractéristiques du béton et de diminuer la quantité du ciment utilisé. Dans cette démarche, le calcaire utilisé provient de la région d’Antsirabe, plus précisément dans la carrière de l’Ibity. Il est considéré comme inerte d’après les études effectuées mais il répond aux exigences des additions minérales qu’on peut utiliser pour le béton. Suite à notre étude, nous avons trouvé que les caractéristiques à l’état frais et à l’état durci du béton obtenu dépendent du mode d’utilisation du filler calcaire ainsi que sa teneur dans la formulation du béton. En utilisant le filler calcaire comme granulats, la maniabilité, le retrait et la résistance mécanique sont satisfaisantes. On observe une augmentation de l’affaissement et de la résistance mécanique parallèlement avec l’augmentation de la teneur en filler calcaire. Pour le retrait, il diminue si la teneur en filler calcaire augmente. Avec l’emploi du filler calcaire comme substitution de ciment, seul avec une substitution entre 25% et 30%, que nous avons obtenu un résultat satisfaisant. Seulement entre cet intervalle que le béton possède un retrait faible, fluide et avoir de résistance mécanique plus élevée que celui du béton témoin.

Mot clé – Filler, Calcaire, Maniabilité, Retrait, Béton.

Abstract – The objective of this study is to determine the influence of limestone filler on the workability, mechanical strength, and shrinkage of concrete. The limestone fillers are among the mineral additions used to improve the characteristics of concrete and to decrease the quantities of cement used. In this research, the limestone used comes from the region of Antsirabe, more precisely in the quarry of Ibity. It is considered as inert according to the studies carried out but it meets the requirements of the mineral additions that can be used for the concrete.

Following our study, we found that the fresh and hardened characteristics of the concrete obtained depend on the mode of use of limestone filler as well as its content in the formulation of the concrete. With the use of limestone filler as aggregate, the workability, shrinkage, and mechanical strength are satisfactory. An increase of the subsidence and the mechanical resistance is observed in parallel with the increase of the content of limestone filler. For the shrinkage, it decreases if the content of limestone filler increases.

With the use of limestone filler as a substitution of cement, only with a substitution between 25% and 30%, we obtained a satisfactory result. Only between this interval that the concrete has a low shrinkage, fluid and have higher mechanical strength than that of the control concrete.

Keywords – Filler, Limestone, Workability, Shrinkage, Concrete.

I. INTRODUCTION

Les caractéristiques du béton reposent en général sur l'arrangement granulaire des constituants, c'est-à-dire sur l'association entre les squelettes granulaires (gravillon et sable) humide et la pâte. D'après R. Chaid, et al, (2010), les ajouts cimentaires finement broyés combler les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau.

Dans la présente étude, nous allons étudier les influences de l'introduction du filler calcaire dans la formulation du béton sur ses caractéristiques : la maniabilité, la résistance mécanique à la compression, et le retrait.

On appelle filler les éléments obtenus par concassage et avoir une granulométrie inférieure à 80µm.

Deux méthodes ont été adoptées pour les expérimentations.

- Première méthode : le filler calcaire a été utilisé seulement en tant que granulat et nous avons gardé la teneur en ciment constant comme dans les bétons spéciaux. Donc le filler calcaire a été utilisé comme complément du ciment pour améliorer la compacité du squelette granulaire.
- Deuxième méthode : le filler calcaire a été utilisé en tant qu'ajout minéral, c'est-à-dire quelques quantités de ciment ont été substituées par du filler calcaire. Nous avons adopté la notion de liant équivalent.

L'addition calcaire est considérée comme addition de type I, c'est-à-dire classé comme quasiment inerte.

Pour les deux méthodes, seule la teneur en filler calcaire est variée, et la teneur des autres composants, sont retenues constantes.

Nous avons gardé la valeur du

SP/L_{Eq} à 1,75 % , $F/L_{Eq} = 0.25$ (selon la recommandation de AFGC) ;

$G/S=1$ ou $G/(S+F) = 1$; $E/Leq=0.55$.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1) Matériels :

Les matériels utilisés pour réaliser cette étude sont :

- Broyeur : pour effectuer le broyage, on utilise de broyeur de capacité 15l, Puissance 1400w, 220V
- Tamis : le tamis a été utilisé pour l'analyse granulométrique

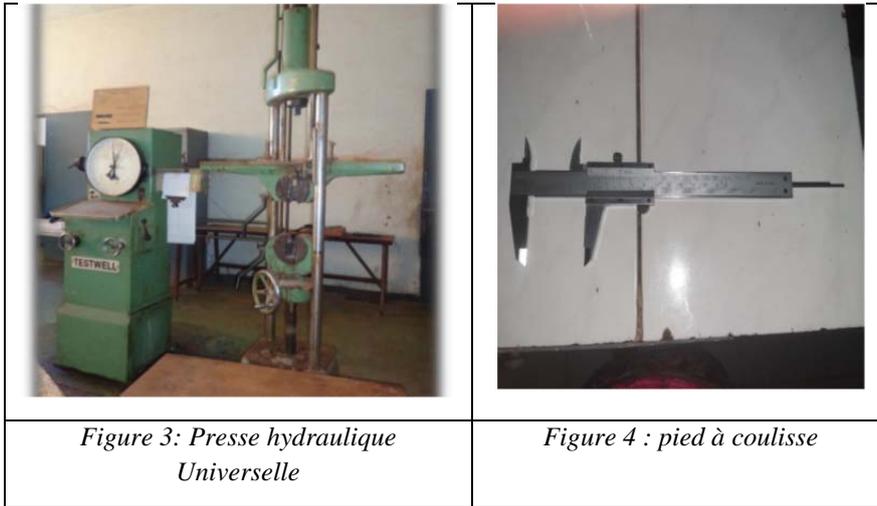


Figure 1 : Broyeur



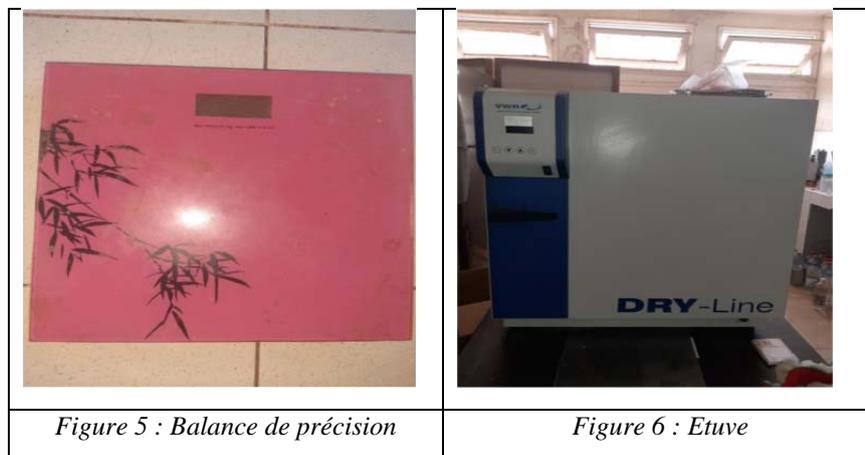
Figure2 : Tamis

- Presse hydraulique universelle : les résistances mécaniques à la compression ont été mesurées avec une presse hydraulique universel de marque test well ;
- Pied à coulisse : la mesure du retrait a été effectuée avec un pied à coulisse ;



- Balance de précision pour la pesée

- Etuve



- Burette,
- Papier-filtre,
- Tige de verre,
- Agitateur à ailettes,
- Bécher,

2.2). Méthodologie

2.2.1) Caractérisations et préparation du filler calcaire

Dans notre étude, le filler calcaire utilisé est la poudre de cipolin blanc, provenant de la carrière d'Ibity d'Antsirabe, plus précisément dans la carrière d'Antemotra.

➤ Préparation



Figure 7 : Schéma de préparation

Pour le cipolin, quelques paramètres ont été déterminés pour mieux comprendre sa réaction avec les autres composants du béton :

➤ Caractéristiques physiques ;

➤ L'activité du cipolin ;

L'indice d'activité a été déterminé à travers des essais mécaniques de compression sur des éprouvettes de mortier 40 x 40 x 160 mm³

L'indice d'activité, noté « i », est défini comme le rapport des résistances mécaniques à la compression d'éprouvettes normalisées (norme NF EN 196-1) de mortier de même âge, préparées les unes avec le ciment de référence, les autres en remplaçant une fraction p du ciment par une même masse de l'addition considérée.

Indice d'activité du cipolin est donné par la formule

$$i = \frac{R_p}{R_0} \quad (1)$$

Avec

i = indice d'activité

R_p = résistance à la compression du mortier avec p% de cipolin en masse de ciment,

R₀ = résistance à la compression du mortier témoin avec 100% de ciment

Pour notre étude, on prend p = 0,25

➤ Teneur en carbonate de calcium

Pour déterminer la teneur en carbonate de calcium, nous avons déterminé les caractéristiques chimiques du cipolin par fluorescence X.

➤ Détermination de la valeur de bleu de méthylène

Principe : une solution de bleu de méthylène est ajoutée progressivement par doses successives à une suspension de l'échantillon de granulats dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par l'échantillon est vérifiée après chaque ajout de solution de bleu en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB ou MBF) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.

La valeur de bleu de méthylène, MBf est donnée par l'équation suivante

$$MBf = 10 \frac{V_1}{M_1} \quad (2)$$

Avec M₁ masse de l'échantillon en grammes,

V₁ volume total de solution de colorant injectée, en millilitres.



Figure 8 : Détermination de valeur de bleu de méthylène

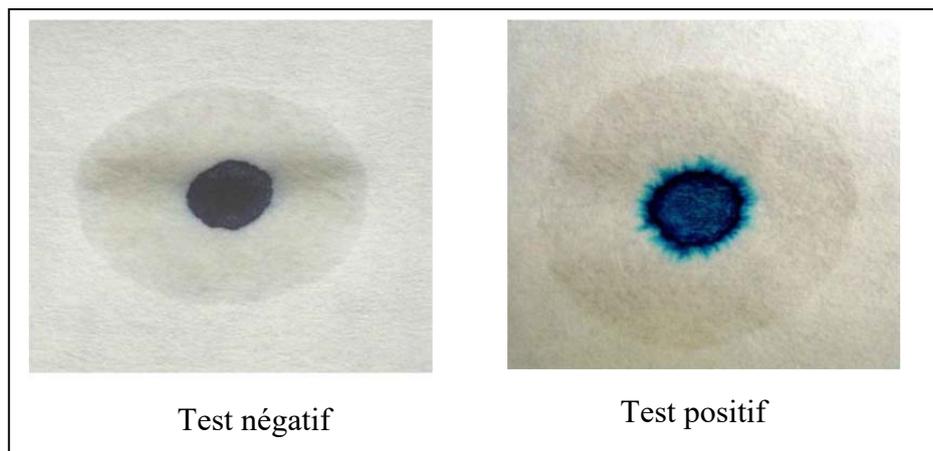


Figure 9 : Test bleu de méthylène

2.2.2) Confection des éprouvettes

Les éprouvettes ont été préparées selon le schéma suivant :

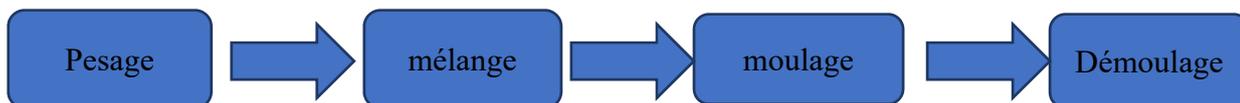


Figure10 : Schéma de préparation de l'éprouvette

Pour la conception des éprouvettes, les matières premières utilisées sont : ciment, gravillon, sable, filler calcaire, eau, superplastifiant.

Le ciment utilisé est le ciment Manda CEM IV / A-V 42.5 N produite par la société Holcim Madagascar, des gravillons concassés provenant de carrière de $d/D = 4/12.5\text{mm}$, des sables de rivières de diamètre inférieur à 5mm, et comme superplastifiant, on utilise le SIKA VISCOCRETE Tempo 12 distribué par la société Madecasse d'Antananarivo.

Les essais mécaniques ont été effectués avec des éprouvettes cylindriques de dimensions (6cmx12cm), élancement 2, à raison de trois éprouvettes par essai.



Figure 11 : Schéma des éprouvettes

Avant tout essais, les moules ont été stockés à l’air libre dans le laboratoire. Après 24 heures, les éprouvettes ont été démoulées et conservées jusqu’à la période de l’essai dans l’eau à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

2.2.3) Etude des influences du filler calcaire sur la maniabilité et le retrait du béton

Deux méthodes ont été adoptées pour effectuer ces études :

- Méthode M_1 :

Dans cette méthode M_1 , le filler calcaire est utilisé comme granulat, donc la teneur en ciment n’a pas été modifiée dans la formulation du béton. Ici on retient constante la teneur en ciment ainsi que les autres ratios, seule la teneur en filler calcaire a été variée.

- Méthode M_2 :

Dans cette méthode M_2 , nous avons substitué quelques quantités de ciment par le filler calcaire, les autres ratios sont retenus constants.

Pour les deux méthodes, nous avons étudié la variation de la maniabilité, la résistance mécanique et le retrait du béton.

La granulométrie du filler utilisée est inférieure à 0,08mm.

- Pour déterminer la maniabilité, nous avons utilisé le cône d’Abram ;
- Pour déterminer la résistance mécanique, la mesure a été effectuée à 7jour, 14jours, 28jours et 90 jours avec la presse hydraulique universelle Test Well.

La résistance mécanique est donnée par la formule

$$Rc = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Avec

R_c = Résistance mécanique à la compression

F=force

S= surface

- Concernant le retrait, nous avons mesuré seulement le retrait total, et la mesure a été effectuée à 28 jours avec le pied à coulisse.

Le calcul du retrait a été effectué selon la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{L1-L2}{L1} \times 100 \quad (4)$$

R : retrait

L_1 : longueur initiale

L_2 : longueur finale

III. RÉSULTATS

3.1). Caractéristiques du cipolin

Les caractéristiques du cipolin sont données dans le tableau suivant :

Tableau1 : résultats des caractéristiques du cipolin

Valeur de bleu de méthyle (g/kg)	0,22
Nature	Inerte
Indice d'activité	0,51

D'après le tableau 1, nous avons trouvé une petite valeur de bleu de méthyle qui est égal à 0,22, cela nous renseigne que, le calcaire provenant de la carrière d'Ibity a une faible teneur en argile.

Nous avons aussi un indice d'activité qui est égal à 0,51, « i » n'appartient donc pas à l'intervalle $0,67 < i < 1$, alors on peut dire aussi que le cipolin que nous avons utilisé ne possède pas de caractère pouzzolanique.

Le tableau suivant montre les caractéristiques chimiques par fluorescence X du cipolin :

Tableau2 : résultats des caractéristiques chimiques par fluorescence X

Teneur	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O ₃	SO ₃	CaCO ₃	PF
%	8,80	0,96	0,60	50,40	1,60	0,50	0,05	0,20	0,11	90,01	34,20

D'après le tableau 2, nous avons CaCO₃ = 90,01 %, CaO= 50,40% et MgO=1,60%, cela nous indique que le cipolin d'Ibity appartient à la famille de roche calcaire mais pas à la famille de dolomie, plus précisément, c'est un calcaire magnésien car la teneur en CaCO₃ et CaO est élevée et la teneur en MgO est inférieure à 5%.

Selon la norme ASTM C 618, un matériau est considéré comme pouzzolanique si :

- Sa composition chimique vérifie : $Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 > 70\%$
- Son indice d'activité i est : $0,67 < i < 1$

Ici, nous avons : $Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 = 10,36\%$

Ainsi, nous pouvons conclure que le cipolin d'Ibity est quasiment inerte et comme la valeur du bleu de méthylène trouvée est faible, il possède de faible teneur en argile, donc le cipolin d'Antsirabe peut être utilisé comme ajout pour le béton.

3.2) Influences du filler calcaire

3.2.1) Méthode M1

3.2.1.1) Maniabilité du béton

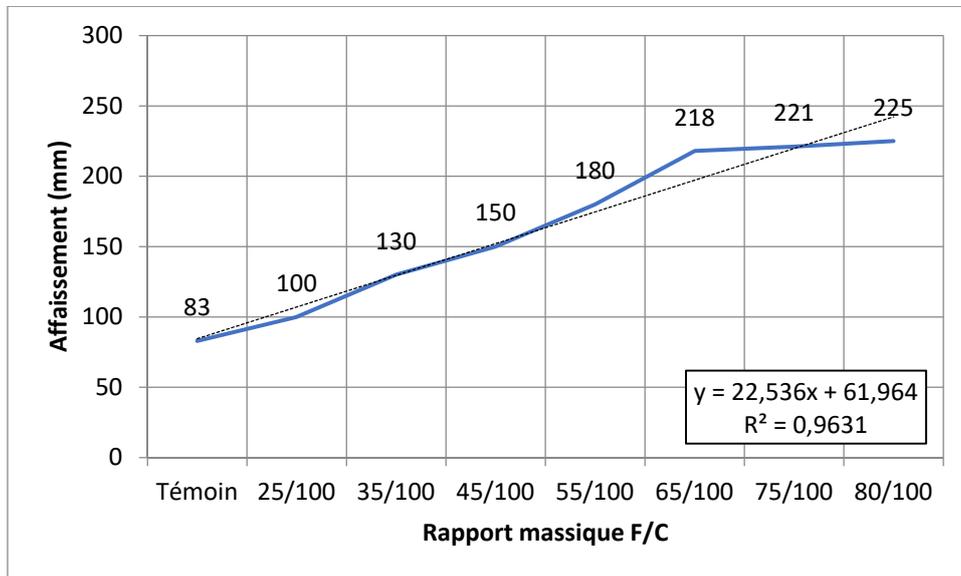


Figure 1 : Evolution de l’Affaissement du béton en fonction de la teneur en filler calcaire utilisé comme granulat

D’après la figure 12, nous avons constaté une augmentation quasi linéaire de la maniabilité du béton au fur et à mesure qu’on accroît la teneur en filler calcaire. Cela nous indique que le filler calcaire améliore la maniabilité du béton.

3.2.1.2) Résistance mécanique des éprouvettes

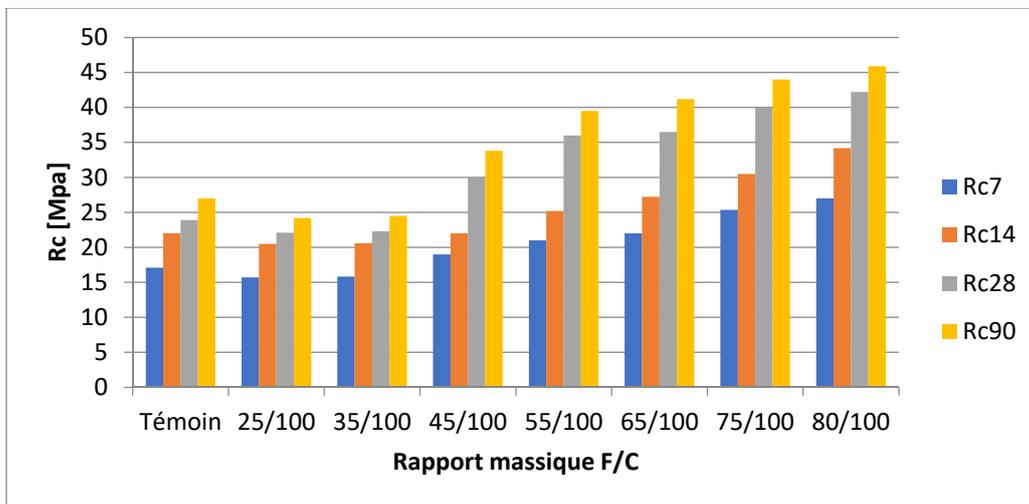


Figure 2 : Evolution de la résistance mécanique en fonction de la teneur en filler calcaire utilisé comme granulat

D’après la figure 13, on observe que la résistance à la compression augmente parallèlement avec la teneur en filler calcaire, on obtient une résistance élevée surtout à long terme.

Ceci nous explique que la présence du filler calcaire améliore la résistance à la compression. Il joue le rôle de remplissage des vides dans la formulation du béton.

3.2.1.3) Retrait des éprouvettes

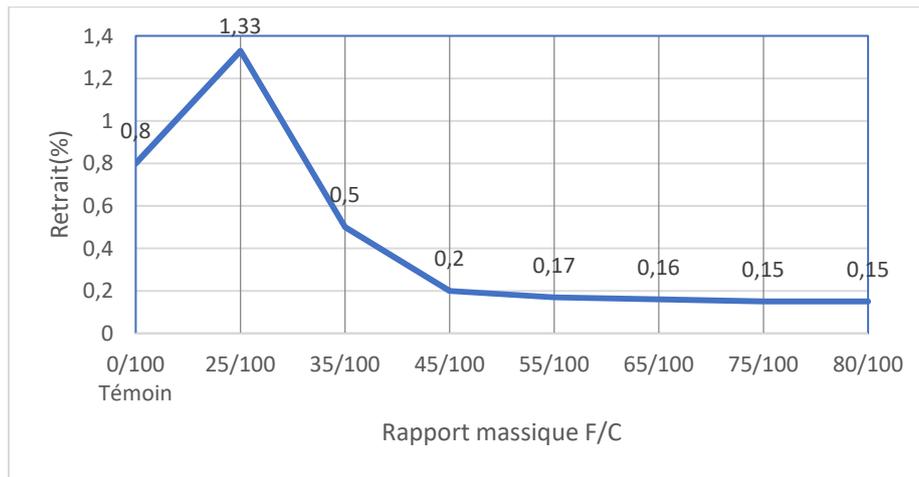


Figure 3 : Evolution du retrait en 28 jours en fonction de la teneur en filler calcaire –Méthode M1

On observe sur la figure 14 que, le retrait est faible par rapport à celui du béton classique témoin, elle diminue au fur et à mesure qu'on augmente la teneur en filler dans la formulation du béton.

On peut conclure alors que le filler calcaire améliore le retrait du béton.

3.2.2). Résultat obtenu avec la Méthode M2

3.2.2.1) Maniabilité du béton

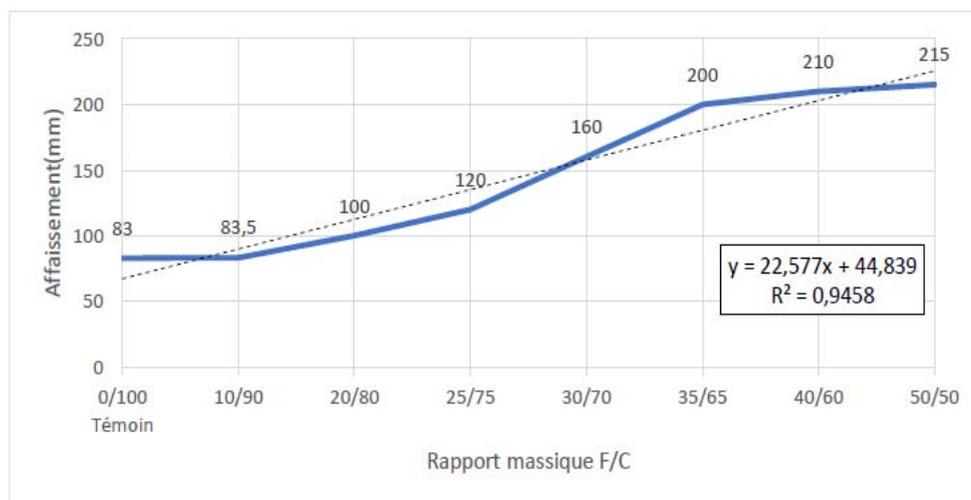


Figure 15 : Evolution de la maniabilité en fonction de la teneur en filler calcaire en substitution du ciment -Méthode M2

La figure 15 nous montre que, la maniabilité du béton augmente avec la teneur en filler calcaire utilisée. Donc, on peut dire que le filler calcaire améliore toujours la maniabilité quelque soit sa mode d'introduction dans la formulation de béton.

3.2.2.2) Résistance mécanique des éprouvettes

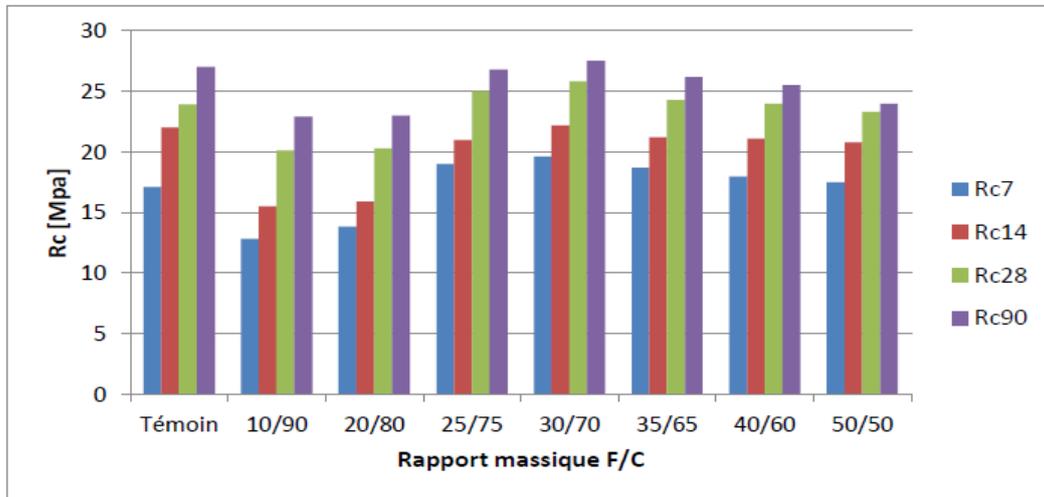


Figure16 : Evolution de la résistance mécanique en fonction de la teneur en filler calcaire utilisée en substitution du ciment – Méthode M2

La figure 16 montre que, la résistance mécanique à la compression est satisfaisante pour une substitution de 25% à 30% de ciment par le filler calcaire. Elle commence à diminuer à partir de 35% de substitution. Si on compare se résultat avec celle du béton témoin, il nous renseigne que le filler calcaire ne participe pas à la réaction d’hydratation. Si la teneur en ciment diminue, la résistance à la compression diminue en même temps.

3.2.2.3) Retrait des éprouvettes

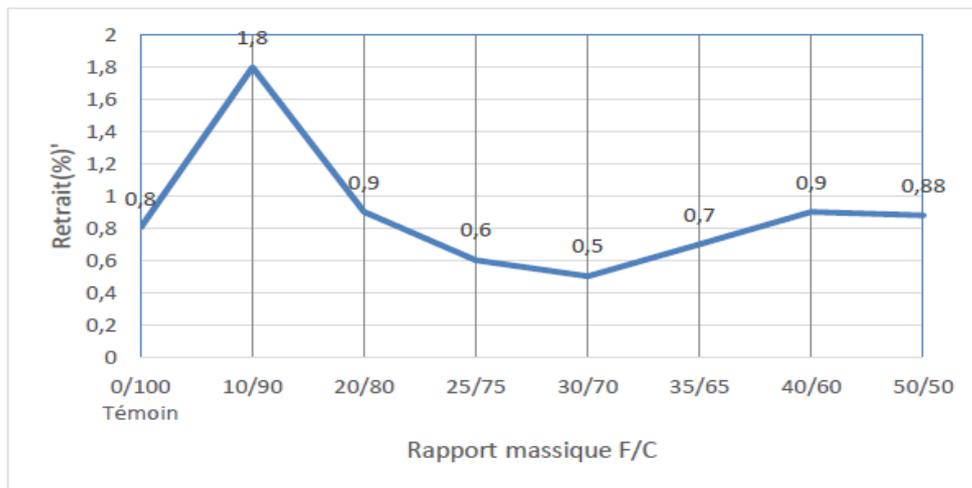


Figure17 : Evolution du Retrait à 28 jours en fonction de la teneur en filler calcaire utilisée comme ajout minéral en substitution du ciment- Méthode M2

La figure 17 montre que, le retrait n’est pas faible sauf avec une substitution de 25% à 35 % de ciment. A partir de 35% de substitution, le retrait à tendance à augmenter si on le compare avec le retrait du béton témoin. On peut conclure que l’augmentation de la teneur en cipolin qui est inerte dans la formulation de béton en tant que substitution de ciment augmente le retrait.

IV. DISCUSSIONS

En comparant les résultats obtenus par la méthode M1 et M2, nous avons constaté que, la méthode M1 donne les meilleurs résultats, en général.

Pour les deux méthodes, l'augmentation de la teneur en filler calcaire dans la formulation du béton améliore toujours la maniabilité.

D'après ces résultats, nous avons constaté que le béton obtenu avec l'utilisation de la méthode M1 a une résistance mécanique plus élevée surtout en ce qui concerne la résistance mécanique à long terme, que celui obtenu avec la méthode M2,

Pour la méthode M1, avec $F/C = 25/100$ à $F/C = 80/100$, la résistance mécanique augmente de $R_{cM1} = 22,1$ MPa à 42,24 MPa à 28 jours. Ce résultat nous indique que la résistance à la compression augmente au fur et à mesure qu'on augmente la quantité de filler introduite dans la formulation du béton. Et si on compare avec la résistance mécanique du béton classique, c'est à partir de $F/C = 45/100$ qu'elle est la meilleure.

Ceci est compréhensible puisque pour un même rapport F/C (exprimé en %) la quantité de ciment est plus élevée pour la première méthode que pour la deuxième, le filler calcaire ne participe pas dans la réaction d'hydratation en tant que liant mais il participe dans l'arrangement granulaire.

Walid Deboucha [2] et al, ont trouvé que, au-delà d'une substitution de 5% de filler calcaire, la résistance mécanique diminue. Pour notre cas, nous avons trouvé que la résistance dépend du mode d'introduction du filler calcaire dans la formulation du béton. Nous avons constaté que, entre 25% et 30% de substitution, on peut obtenir de résistance mécanique satisfaisante si on compare avec celle du béton classique témoin.

Concernant le retrait, la méthode M1 donne du béton à faible retrait si on compare avec celui du béton classique témoin. Mais la méthode M2 donne de retrait plus élevé sauf entre 25% et 35% de substitution du ciment par le filler calcaire.

D'après Imène Joudi-Bahri [3], les fillers calcaires favorisent le retrait total du béton. Pour notre cas, nous avons trouvé que le retrait du béton dépend aussi du mode d'introduction du filler calcaire dans la formulation du béton et de la teneur en quantité de substitution. On peut obtenir de béton de faible retrait si le filler est utilisé comme granulats ou la teneur d'ajout est entre 25% et 35%.

V. CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'évaluer les influences du filler calcaire sur la maniabilité et le retrait du béton. Les résultats obtenus montrent que, les caractéristiques du béton dépendent du mode d'introduction du filler dans la formulation du béton. En utilisant le filler calcaire comme granulats, nous avons obtenu le meilleur résultat qu'avec celui utilisé comme substitution de ciment. Nous avons constaté que, en augmentant la teneur en filler calcaire utilisée comme granulats, la maniabilité et le retrait s'améliorent. Pour celui utilisé comme substitution de ciment, nous avons constaté qu'entre 25% et 30% d'ajout, nous avons de béton fluide à faible retrait, et de résistance mécanique satisfaisante. Toutefois, à partir de 30% de substitution, la résistance à la compression diminue, inférieure même à celle du béton classique, et le retrait augmente légèrement.

RÉFÉRENCES

- [1] R. Chaid, R. Jaubertie1 et A. Boukhaled2, 2010, « Effet de l'ajout calcaire sur la durabilité des bétons » Article sur Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 1
- [2] Walid Deboucha, Nordine Leklou, Khelidj Abdelhafid, Mohamed Nadjib Oudjit, 2016, « L'effet des fillers calcaires sur la résistance à la compression et l'absorption capillaire du béton », Conférence CITEBUD3
- [3] Imène Joudi-Bahri, 2012, « Influence des sables fillerisés calcaires sur les propriétés des bétons courants et superplastifiés. Un exemple tunisien », thèse, Université de Lorraine, France & de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Spécialité : Génie Civil.

ABRÉVIATIONS

F : Filler calcaire ; G : gravillon ; S : Sable ; E : Eau ; C : Ciment ; L_{Eq} : liant équivalent