

## Etude du comportement de la résistance en compression du béton suite à la variation unimodale quantitative de ses composantes primaires

### [ Study of concrete compressive strength behavior following quantitative unimodal variation of its primary components ]

*Cirhuza Badesire Paterne<sup>1</sup>, Muhindo Wa Muhindo Abdias<sup>2</sup>, Aksanti Balola Jackson<sup>1</sup>, Bashige Germaine<sup>1</sup>, Koko Katumbi<sup>1</sup>, Gabriel Kashala<sup>1</sup>, Prince Badesire<sup>3</sup>, and François Ngaggue<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Université Libre des Pays des Grands Lacs (BP 368), Goma, North Kivu, RD Congo

<sup>2</sup>Buildings and Publics Works Section, Institut du Batiment et des Travaux Publics, Butembo, RD Congo

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering, Université de Kinshasa (B.P. 127), Kinshasa, RD Congo

<sup>4</sup>Department of Civil engineering, Dschang University (BP134), Bandjoun, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article presents the results of a study on the behavior of the compressive strength of a reference concrete formulated by the Dreux-Gorisse method, varying the dosage of water and cement by +/-10%, +/-20%, and +/-30%. The strength obtained for the reference concrete was 13.04MPa. However, an excessive change in the water dosage resulted in strengths of 8.438MPa, 7.05MPa, and 4.73MPa respectively for the dosages of +10%, +20%, and +30%. A deficient change in water dosage produced strengths of 14.418MPa, 15.465MPa, and 17.11MPa for the dosages of -10%, -20%, and -30%. For an excessive change in cement dosage, the strengths were 13.496MPa, 15.936MPa, and 21.575MPa respectively for the dosages of +10%, +20%, and +30%. A deficient change in the cement dosage showed strengths of 6.271MPa, 5.26MPa, and 3.207MPa for the dosages of -10%, -20%, and -30%. These results demonstrate that variations in these two components significantly affect the compressive strength of concrete. However, the change in cement dosage has a far greater impact on compressive strength than that of water.

**KEYWORDS:** Cement dosage, Concrete, Compressive strength, Water dosage, Variation.

**RESUME:** Cet article présente les résultats d'une étude portant sur le comportement de la résistance à la compression d'un béton de référence formulé par méthode Dreux-Gorisse et faisant varier le dosage en eau et en ciment de +/-10%, +/-20%, et +/-30%. La résistance obtenue pour le béton de référence a été de 13,04MPa. Toutefois, une variation en excès du dosage en eau a entraîné des résistances de 8,438MPa, 7,05MPa, et 4,73MPa respectivement pour les dosages de +10%, +20%, et +30%. La variation en défaut du dosage en eau a donné des résistances de 14,418MPa, 15,465MPa, et 17,11MPa pour les dosages de -10%, -20%, et -30%. Pour la variation en excès du dosage en ciment, les résistances ont été de 13,496MPa, 15,936MPa, et 21,575MPa respectivement pour les dosages de +10%, +20%, et +30%. La variation en défaut du dosage en ciment a montré des résistances de 6,271MPa, 5,26MPa, et 3,207MPa pour les dosages de -10%, -20%, et -30%. Ces résultats démontrent que la variation de ces deux constituants affecte considérablement la résistance à la compression du béton. Toutefois, la variation du dosage en ciment influe largement sur la résistance à la compression par rapport à celle de l'eau.

**MOTS-CLEFS:** Béton, Dosage en Ciment, Dosage en béton, Résistance à la compression, Variation.

## **1 INTRODUCTION**

Les constructions en béton sont très répandues dans le monde, sous diverses formes. Il est estimé qu'à chaque seconde, 190 m<sup>3</sup> de béton sont coulés, soit 6 milliards de m<sup>3</sup> par an, ce qui fait du béton l'un des matériaux les plus utilisés au monde [1]. Le béton est également un matériau intéressant dans le domaine du génie civil, grâce notamment à ses constituants faciles à trouver et à sa mise en œuvre n'exigeant pas de matériels sophistiqués. Le béton est soumis à des normes, de sa formulation à sa mise en œuvre [2].

Dans les pays en voie de développement, ces normes sont souvent mal respectées en raison de l'absence de matériel adéquat pour la mise en œuvre. Bien que certaines entreprises disposent de ces matériels de base et réussissent à produire du béton selon les règles de l'art, dans certains chantiers de construction, le béton est encore coulé sans ces matériels, entraînant des différences entre les valeurs théoriques (calculées lors de la formulation) et pratiques (celles mesurées sur chantier). Ces différences peuvent causer des désordres dans la structure, allant d'une simple fissure à l'effondrement, comme stipulé dans le rapport de l'organisme de surveillance PlaneScope de décembre 2019 [3], [4].

Ce travail se propose d'étudier le comportement de la résistance à la compression du béton lorsque certaines de ses composantes primaires, en l'occurrence le ciment et l'eau, sont en excès ou en déficit par rapport aux valeurs calculées lors de la formulation. Nous chercherons à déterminer si l'excès ou le déficit en ciment ou en eau a une forte influence sur la résistance visée. Pour cela, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques physiques des granulats devant être utilisés dans la formulation, ainsi que celles du ciment utilisé. Des éprouvettes cylindriques de béton (16x32cm) seront ensuite réalisées et testées à la compression 28 jours après leur fabrication [5], [6].

## **2 MATERIELS ET METHODES**

Les constituants utilisés dans le béton sont de diverses natures et de diverses origines. Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons respectivement la nature et l'origine du ciment, de l'eau, du sable et du gravier utilisés.

Le ciment HIMA a été utilisé lors de la fabrication des différents bétons. Le ciment choisi dans cette étude est du type pouzzolanique CEM IV/B de classe 32,5 de couleur grise et est produit en Ouganda.

L'eau de gâchage utilisée dans la fabrication des bétons est potable et est fournie par la Régie Congolaise de Distribution d'Eau (REGIDESO).

Le sable utilisé est un sable roulé dragué dans le lac Kivu de classe 0/5.

Le gravier utilisé est du type concassé et a été extrait de la roche basaltique de la carrière de NGANGI, à Goma, en RDCongo, de classe 5/25.

L'étude de la composition du béton est effectuée en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse [7], [8]. Après la détermination du dosage des divers éléments constitutifs du béton, des variations en défaut du dosage en eau "E" de -10 %, -20 %, -30 % et en excès de 10 %, 20 %, 30 % sont effectuées par rapport à la quantité d'eau déterminée lors de la formulation, tout en gardant constants les dosages des autres éléments. D'autres variations seront effectuées au dosage du ciment "C" en défaut de -10%, -20%, -30% et en excès de 10%, 20%, 30% par rapport à celui déterminé lors de la formulation, tout en gardant constants les dosages des autres éléments.

L'analyse granulométrique des granulats a été effectuée selon la norme NF P 18-560 [9]. La masse volumique apparente a été déterminée selon les normes NF P 18-555 [10]. La masse volumique absolue a été déterminée selon les normes NF P 18-554 [11]. L'équivalent de sable a été déterminé selon les normes NF P 18-598 [12]. La masse volumique absolue du ciment a été déterminée en appliquant la méthode de l'éprouvette graduée selon la norme NF P 18-558 [13]. L'essai de consistance a été réalisé selon la norme NF P 18-451 [14]. L'essai de compression a été effectué suivant la norme NF EN 12390-7 [15].

## **3 RESULTATS ET DISCUSSIONS**

Cette section présente les résultats obtenus pour les différents essais effectués au laboratoire et leur interprétation.

### 3.1 CARACTERISATION DES CONSTITUANTS

#### 3.1.1 SABLE

Le résultat de l'essai de détermination de la masse volumique absolue, apparente et de la teneur en eau du sable sont présentés dans le Tableau 1.

**Tableau 1. Masses volumiques et teneur en eau du sable**

	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Teneur en eau (%)
<b>Sable</b>	2,71	1,86	2,5

L'analyse granulométrique a été effectuée sur le sable d'Idjwi. La composition granulométrique est présentée à la fig. 1.



**Fig. 1. Courbe de l'analyse granulométrique du sable**

Le module de finesse du sable a été de 2,875 qui est légèrement supérieur à 2,8 cela revient à dire que le sable contient beaucoup de particules de grosse dimension.

Les coefficients d'uniformité  $C_u$  et de courbure  $C_z$  sont respectivement de 7,815 et 0,5. Il est constaté que  $C_u$  est supérieur à 2, la granulométrie est donc étalée et  $C_z \leq 1$ , la granulométrie du sable est donc mal graduée.

L'équivalent de sable a été déterminé à partir de la norme NF P 18-598 [12] et a pour valeur 81%. Il advient que ce sable est propre et convient à la formulation du béton.

#### 3.1.2 GRAVIER

Le résultat de l'essai de détermination de la masse volumique absolue, apparente et de la teneur en eau du gravier sont présentés dans le Tableau 2

**Tableau 2. Résultat des masses volumiques et de la teneur en eau du gravier**

	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Teneur en eau (%)
<b>Gravier</b>	2,913	1,79	1,9

La composition granulométrique du sable est présentée à la fig. 2.

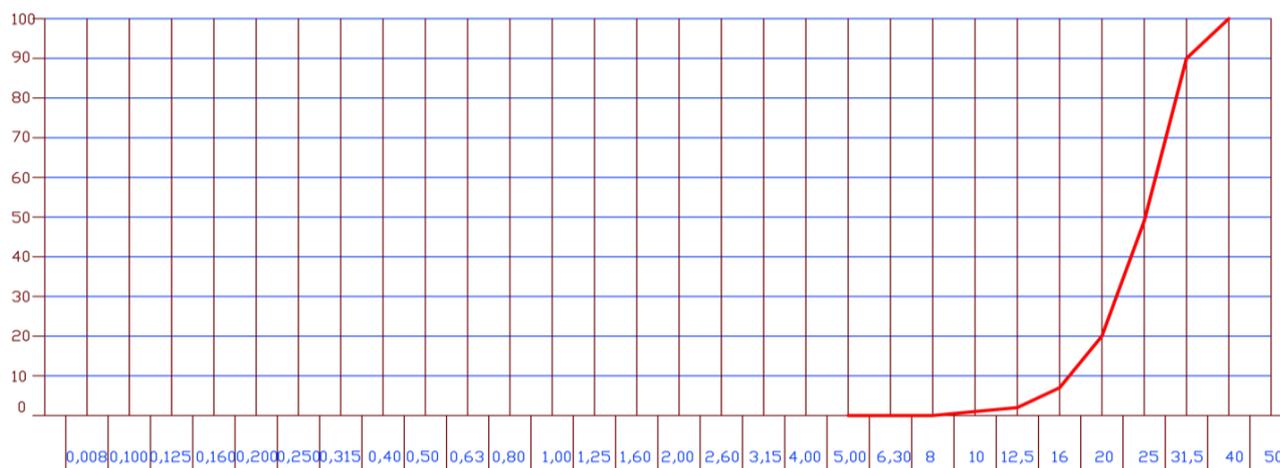


Fig. 2. Courbe d'analyse granulométrique du gravier

Les coefficients d'uniformité  $C_u$  et de courbure  $C_z$  sont respectivement 1,53 et 1,1.  $C_u$  étant inférieur à 2, la granulométrie du gravier utilisé est donc serrée. Quant au coefficient de courbure, sa valeur est de 1,1 d'où la granulométrie est bien graduée.

### 3.1.3 CIMENT

La masse volumique absolue obtenue du ciment utilisé est de  $2,916 \text{ g/cm}^3$ . Il est clair que la masse volumique du ciment utilisé avoisine la masse volumique de référence de  $3,1 \text{ g/cm}^3$ . Pour avoir la pâte normale, le ciment Hima requiert une quantité en eau de 35%. Le début de prise du ciment utilisé est de 4h 33min 33sec et la fin de prise est de 6h 20min 10sec.

### 3.2 RESULTAT DE LA FORMULATION PAR LA METHODE DE DREUX-GORISSE

Les données fondamentales des bétons d'étude à savoir la résistance souhaitée, la résistance visée, la consistance désirée, le type de vibration, la résistance du ciment, l'état des granulats ainsi que le diamètre du plus gros granulat sont repris dans le tableau 3.

Tableau 3. Données de base pour la formulation du béton

	Données
Résistance souhaitée à 28 jours	20MPa
Résistance visée	23MPa
Consistance désirée	7cm
Type de vibration	Faible
Résistance vrai du ciment	40MPa
Coefficient granulaire	0,4
Dmax	31,5 mm

La résistance caractéristique à la compression à 28 jours est de 20MPa; pour atteindre, la résistance moyenne visée est de 23MPa. Un béton plastique est recherché avec un affaissement au cône d'Abrams de 7cm, avec l'utilisation de vibration faible. Le ciment est de classe vraie de 40MPa, le coefficient granulaire des granulats étant de 0,4 et le diamètre du plus gros granulat étant de 31,5mm.

Les dosages en eau et en ciment ont été déterminés à partir de la formule de Bolomey et de l'abaque de Dreux [8]. Le dosage en eau obtenu a été corrigé en fonction de G, dimension du plus gros granulat.

Les dosages obtenus en ciment et en eau sont respectivement de  $386,36 \text{ Kg/m}^3$  et  $168,344 \text{ Kg/m}^3$ .

Le dosage des granulats s'exprime en pourcentage. Ce dernier est obtenu à partir du tracé de la courbe granulométrique de référence OAB. Les différents points sont de coordonnées O (0,0); A (12,5; 46,2) et B (40,100%).

La fig. 4 présente le tracé de la courbe granulaire de référence et la détermination du pourcentage du sable.

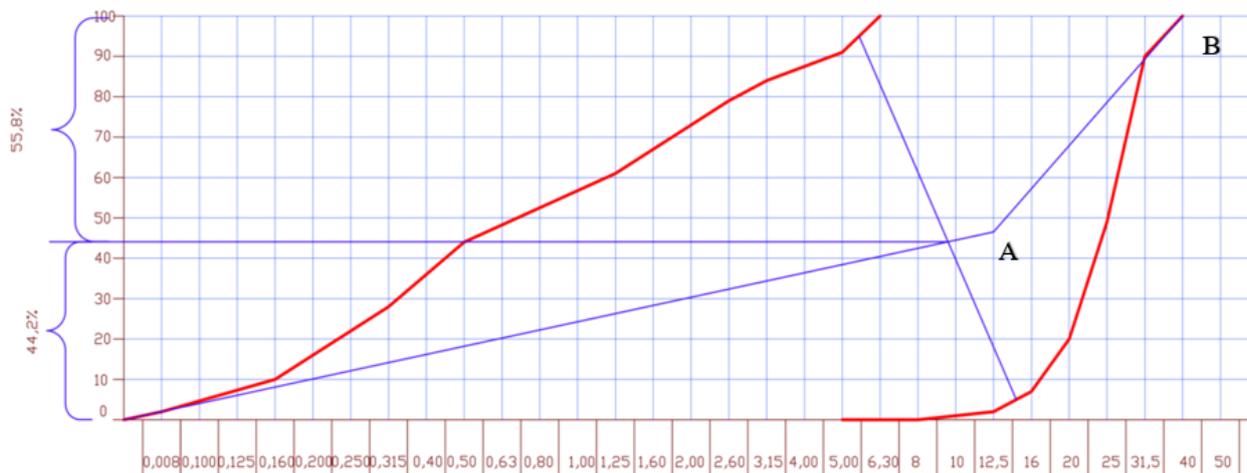


Fig. 3. Tracé de la courbe de référence

De cette courbe granulométrique, on déduit le pourcentage en sable et en gravier qui sont respectivement de 44,2% et 55,8%.

Le dosage des constituants ciment (C), eau (E), Sable (S) et gravier (G) du béton de référence pour un mètre cube sont respectivement de 386,36 Kg, 168,344 litres, 768,644 Kg et 1039,8 Kg correspondant à une masse volumique de 2363,148Kg/m<sup>3</sup>.

La composition réduite à trois moules de 16X32cm (un volume de 0,019292 m<sup>3</sup>) aboutit aux dosages en C, E, S et G respectivement de 5,67Kg, 8,1Kg, 16,2Kg et 22,032Kg

### 3.3 CARACTERISTIQUES DU BETON

Cette section présente les caractéristiques des bétons à l'état frais notamment la consistance ainsi que la caractéristique à l'état durci notamment la résistance en compression.

#### 3.3.1 CONSISTANCE

La figure 4 montre que, d'une part, pour une diminution de l'eau de -10%, -20% et -30%, la consistance varie respectivement de 4,2 cm, 1,8 cm et 0,5 cm, correspondant à un béton ferme. D'autre part, pour une augmentation de +10%, +20% et +30%, la consistance varie respectivement de 8 cm (béton plastique), 14 cm (béton très plastique) et 17 cm (béton fluide). Il convient de noter que le béton de référence a une consistance de 7 cm correspondant à un béton plastique.

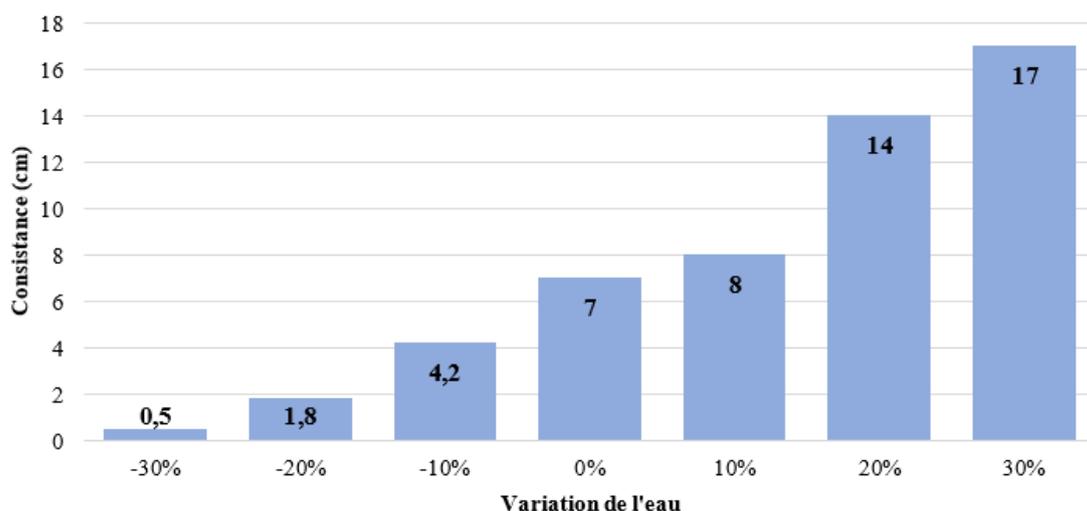


Fig. 4. Consistance des bétons par variation de l'eau

Les résultats de la figure 4 montrent que la consistance varie en fonction du taux de variation du ciment.

D'une part, pour une diminution de -10%, -20% et -30% en ciment, la consistance varie respectivement de 7,5cm (béton plastique), 9cm (béton très plastique) et 10,2cm (béton très plastique).

D'autre part, pour une augmentation de +10%, +20% et +30% en ciment, la consistance varie respectivement de 6cm (béton plastique), 5,4cm (béton plastique) et 3,4cm (béton ferme). Il est important de noter que le béton de référence a une consistance de 7cm (béton plastique).

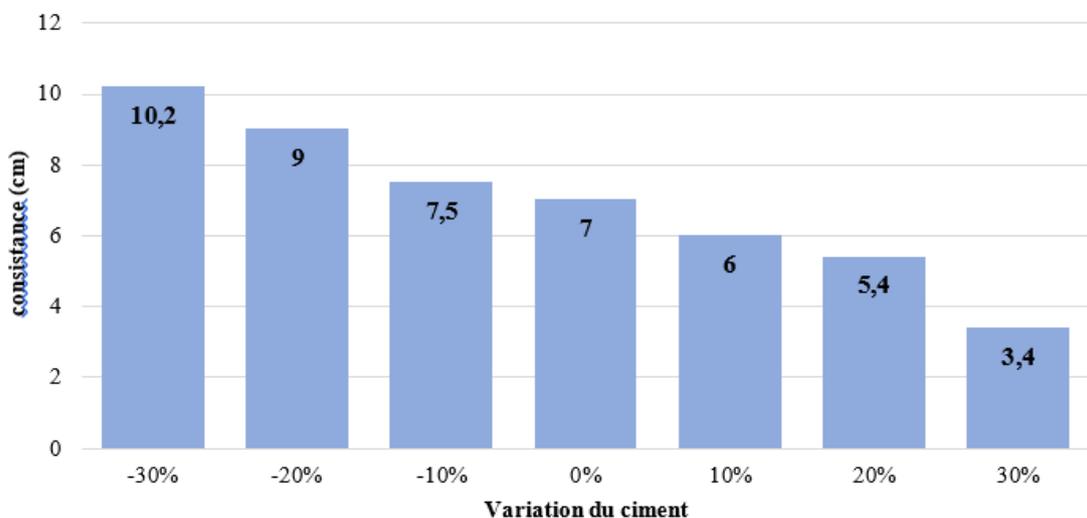


Fig. 5. Consistance des bétons par variation du ciment

### 3.3.2 MASSE VOLUMIQUE

La figure 6 montre que, d'une part, pour une diminution de l'eau de -10 %, -20 % et 30 %, la masse volumique varie respectivement de 2189,2 kg/m<sup>3</sup>, 2262,8 kg/m<sup>3</sup> et 2354,3 kg/m<sup>3</sup>. D'autre part, pour une augmentation de +10 %, +20 % et +30 %, elle varie respectivement de 2132 kg/m<sup>3</sup>, 2123,8 kg/m<sup>3</sup> et 2121,8 kg/m<sup>3</sup> face à une masse volumique de 2259,7 kg/m<sup>3</sup> pour le béton de référence, étant tous des bétons lourds. On constate que la diminution de l'eau augmente la masse volumique, tandis que l'augmentation de cette dernière diminue la masse volumique.

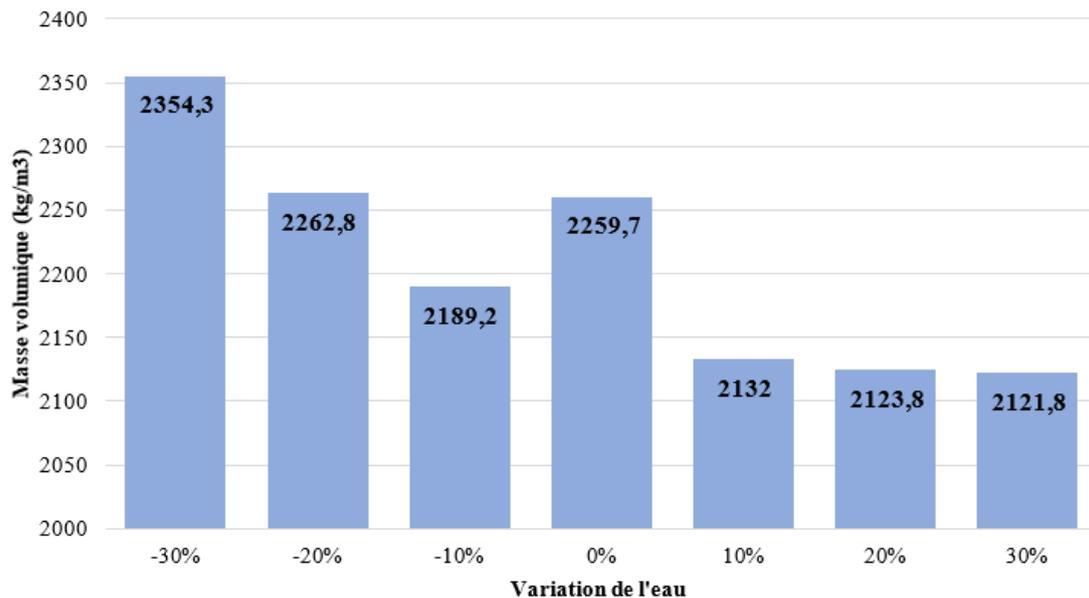


Fig. 6. Masse volumique des bétons par variation de l'eau

La figure 7 montre deux aspects. D'une part, la masse volumique varie respectivement de 2243,9kg/m<sup>3</sup>, 2172,1kg/m<sup>3</sup> et 2131,8kg/m<sup>3</sup> pour une diminution de l'eau de -10%, -20% et -30%. D'autre part, pour une augmentation de +10%, +20%, +30%, le dosage en eau varie respectivement de 2217,5kg/m<sup>3</sup>, 2243,9kg/m<sup>3</sup>, 2261 kg/m<sup>3</sup> par rapport à une masse volumique de 2259,7kg/m<sup>3</sup> pour le béton de référence, étant tous des bétons lourds.

Nous pouvons conclure que la diminution du ciment entraîne une diminution de la masse volumique tandis que l'augmentation du ciment entraîne une augmentation de la masse volumique.

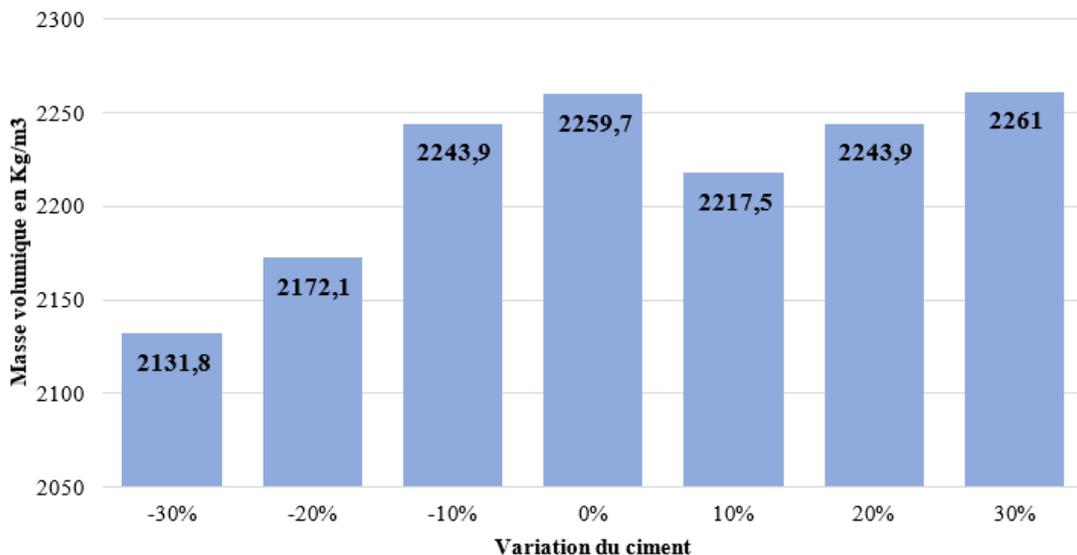


Fig. 7. Masse volumique des bétons par variation du ciment

### 3.3.3 RESISTANCE A LA COMPRESSION

La résistance à la compression du béton varie en fonction de la quantité d'eau utilisée. En effet, elle diminue de façon inversement proportionnelle à l'augmentation de l'eau. Ainsi, pour une diminution de -10%, -20% et -30%, la résistance varie respectivement de 14,418MPa, 15,465MPa appartenant à la classe C12/15 et 17,11MPa appartenant à la classe C16/20. En revanche, pour une augmentation de +10%, +20% et +30%, la résistance varie respectivement de 8,438MPa appartenant à

C8/10, 7,05MPa et 4,73MPa étant non classées. Il est important de noter que la résistance à la compression du béton de référence est de 13,04MPa.

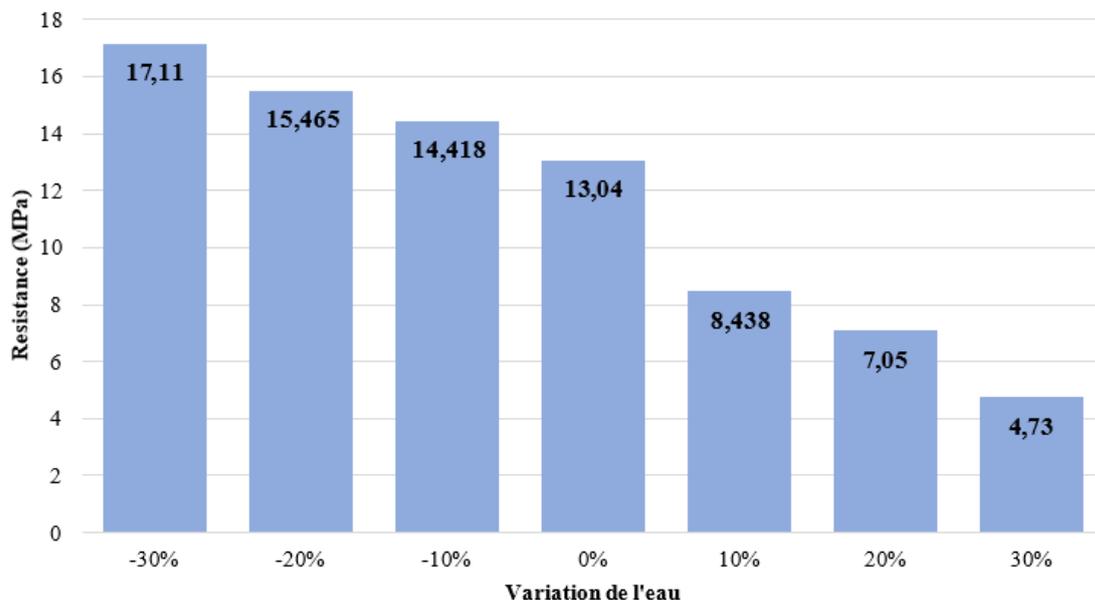


Fig. 8. Résistance à la compression des bétons par variation de l'eau

La résistance à la compression varie proportionnellement avec l'augmentation du ciment. Pour une diminution de 10%, 20% et 30%, la résistance varie respectivement de 6,271 MPa, 5,26 MPa et 3,207 MPa. Pour une augmentation de 10%, 20% et 30%, elle varie respectivement de 13,496 MPa pour la classe C12/16, 16 MPa pour la classe C16/20 et 21,575 MPa pour la classe C20/25.

Il est également important de noter que la résistance à la compression du béton de référence est de 13,04 MPa, appartenant à la classe C12/16.

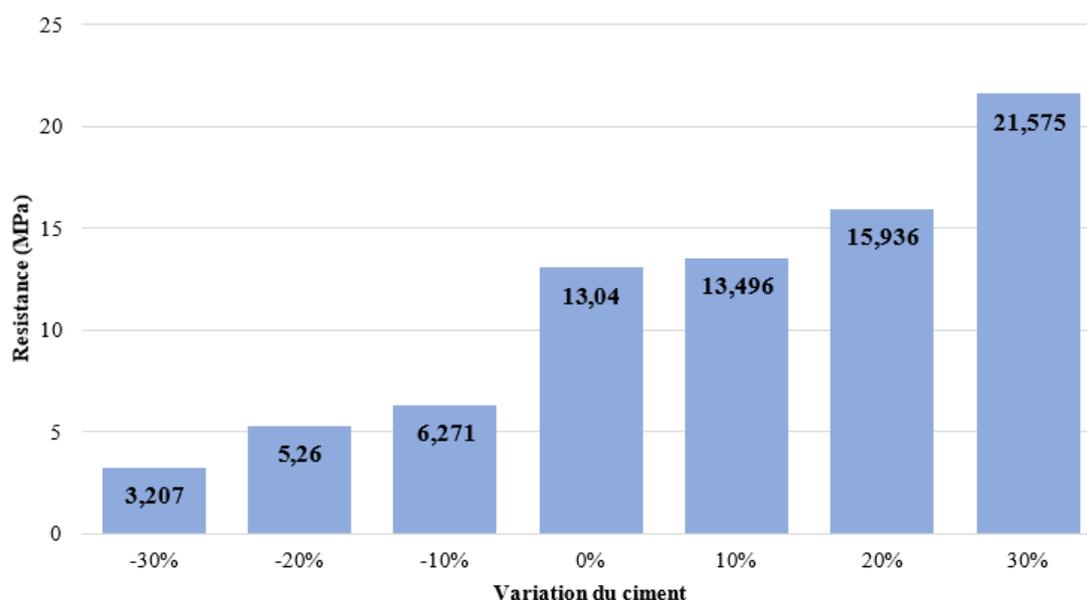


Fig. 9. Résistance à la compression des bétons par variation du ciment

#### 4 CONCLUSION

Le présent article s'est basé sur l'étude du comportement de la résistance en compression du béton suite à la variation unimodale quantitative de ses constituants primaires, plus particulièrement la variation du dosage en eau et en ciment en vue de comprendre leurs influences sur la résistance en compression du béton.

Les éprouvettes cylindriques de béton de dimension  $16 \times 32$  cm ont été confectionnées par la méthode de Dreux-Gorisse, celles-ci ont été écrasées après 28 jours d'immersion dans l'eau pour différentes variations du pourcentage de dosage en eau et en ciment.

Les résultats montrent que la variation du dosage en ciment présente une influence considérable par rapport à celle de l'eau. Toutefois l'influence de cette variation est tellement remarquable à -30% et +30% de variation du pourcentage en eau et en ciment, seuil dépassant largement les exigences fixées.

#### REFERENCES

- [1] MEHTA, P. K., & MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill, 1993.
- [2] NAVILLE, C., DUCHESNE, L., & ROUSSEAU, F. «Influence of mixing method on fresh and hardened properties of self-compacting concrete,» *Cement and Concrete Composites*, 33 (7), 735-744, 2011.
- [3] RAJABPOUR, A., & VOSOOGHI, M. «Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing high volume fly ash,» *Construction and Building Materials*, 140, 213-222, 2017.
- [4] BUENO, C. A., & BOUVET, A. «Environmental impact of concrete: The contribution of life cycle assessment,» *Journal of Cleaner Production*, 244, 118770, 2020.
- [5] KUMAR, R., KHOSLA, N., & KAUSHIK, S. K. «A review on durability of concrete containing industrial wastes as constituents,» *Sustainable Materials and Technologies*, 24, e00153, 2020.
- [6] AMBROISE, J., LAFLAMME, J., & LAFORTUNE, É. Development of dynamic non-destructive tests to assess the quality of concrete in structures. *Construction and Building Materials*, 170, 210-220, 2018.
- [7] Ossilati, E., Ntibabaza, E., & Rumonyangishaki, D., «*Evaluation of the mechanical strength of concrete by application of Dreux-Gorisse method*», *Advances in Civil Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, USA, 2019.
- [8] H Jean FESTA, Georges DREUX, *Nouveaux guide du béton et de ses constituants*, EYROLLES, Paris, Huitième Edition, 2007.
- [9] NF P18-560, «Granulats - Analyse granulométrique», AFNOR, France, 2017.
- [10] NF P18-555, «Granulats - Masse volumique apparente et masse volumique de l'eau contenue pour granulats fins», AFNOR, France, 2007.
- [11] NF P18-554, «Granulats - Détermination de la masse volumique apparente et de l'absorption d'eau des granulats denses et résistants saturés d'eau», AFNOR, France, 2008.
- [12] NF P18-598, «Granulats - Détermination de l'équivalent de sable», AFNOR, France, 2008.
- [13] NF P18-558, «Ciments - Détermination de la masse volumique absolue», AFNOR, France, 2007.
- [14] NF P18-451, «Béton - Détermination de l'ouvrabilité - Essai au cône d'Abrams», AFNOR, France, 1995.
- [15] NF EN 12390-7, «Essais de compression des éprouvettes en béton durci - Partie 7: Essai à la compression axiale des éprouvettes cylindriques», AFNOR, France, 2019.