

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 03, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

LE BETON ET LES BETONS A HAUTE PERFORMANCE

Papier pour la conférence académique internationale tenue par Bernard GOUBA ce 20/02/2021

Résumé

Les bétons à hautes performances présentent une durabilité améliorée et une résistance accrue. Ils sont capables de supporter des charges supérieures ou permettre des constructions plus élancées. Les Béton à Haute Performance peuvent également présenter des formes plus complexes et permettent de réaliser des ouvrages de grandes portées. Pendant sept jours nous avons conservé dans l'eau des éprouvettes cylindriques de béton pour tester la résistance, à sept jours d'âges, du béton à haute performance formulé. Ce choix a été guidé par un souci de maîtrise de la formulation des Béton à Haute Performance d'une part et de vérification de sa résistance à son jeune âge d'autre part.

L'objectif visé a aussi guidé le choix des paramètres retenus pour la formulation et les essais tels que la granulométrie ; l'affaissement du béton et la résistance à la compression.

Les résultats montrent que les bétons à hautes performances ont une résistance à la compression beaucoup plus élevée.

Mots clés : Béton – Béton haute performance

1- INTRODUCTION

Préalablement pour répondre à des exigences de plus en plus sévères des ouvrages en béton telles que la durabilité, la performance mécanique (compression, traction, module d'élasticité) contre les agents agressifs, la technologie du béton a beaucoup innové ces dernières années et a vu l'apparition de nouveaux types de bétons (béton à nouvelles performances). Ces bétons présentent en général des résistances mécaniques ou des Propriétés physicochimiques supérieures à celles de béton ordinaire. Ils sont plus sensibles au retrait et à la fissuration au jeune âge, du fait de leur rapport eau/ciment plus faible ($E/C < 0.4$). Ceci a été rendu possible grâce au développement de nouveaux matériaux tels que les super plastifiants hautement réducteurs d'eau.

Les bétons à hautes performances sont définis par une résistance caractéristique à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPa. Lorsque les résistances sont supérieures à 80 MPa, on parle de bétons à ultra-hautes performances (BUHP). Les Bétons à Haute Performance et les bétons à ultra-hautes performances présentent les caractéristiques suivantes :

- une augmentation des caractéristiques mécaniques (compression, traction, module d'élasticité), tant au jeune âge qu'à long terme ;
- une plus grande imperméabilité à l'air et à l'eau, due à une compacité plus élevée et donc un renforcement de la protection des armatures par rapport à la corrosion ;
- une plus grande résistance aux agents agressifs, d'où une meilleure durabilité exploitée.

Ainsi cette étude a pour but d'acquérir une connaissance supplémentaire sur les bétons spéciaux (béton à nouvelles performances) ce qui justifie l'existence de cette présente étude effectuée.

Le béton formulé doit avoir une résistance caractéristique à 28 jours $f_{c28} = 65$ MPa.

Pour réaliser cette étude nous avons confectionnés une série d'éprouvettes de béton à haute performance. Cette étude expérimentale a été réalisée pour un âge du béton à 7 jours. Les essais du chargement mécanique ont été faits sur les éprouvettes de béton à la température ambiante. Dans cette étude, nous présenterons, dans un premier temps, les matériels et la méthodologie utilisée pour la collecte des échantillons d'éprouvette de béton. Enfin, nous abordons l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

2- MATERIEL ET METHODE

2.1- Choix des dispositifs de l'étude

2.1.1- Matériaux du béton

Le béton faisant l'objet de notre étude est un béton binaire constitué essentiellement de granulats (le sable et le gravier), d'eau, de liant (CPA 45) et un adjuvant (le super plastifiant), et ceci à des proportions bien déterminées.

☞ Le liant

Les liants hydrauliques sont des substances finement broyées, capables de former avec l'eau une pâte qui peut durcir progressivement dans l'eau ou dans l'air pour prendre et conserver la consistance d'une pierre. Le liant utilisé est du CPA 45 (ciment portland artificiel) ou encore appelé CEMI 42,5N. Il est caractérisé par sa classe vraie (CE) qui est de l'ordre de $CE = 52,5$ MPa.

☞ Les granulats (le sable et les graviers)

Afin d'atteindre la résistance escomptée, les matériaux doivent être rigoureusement choisis. Ils doivent être propres et bien calibrés.

❖ Le sable

Ce sont des granulats de très petits diamètres de classe granulaire 0/D ou $D < 6,3\text{mm}$. Il a pour but de combler le vide laissé entre les granulats grossiers (gravier). Nous utiliserons un sable 0/5 pour notre étude.

❖ Les graviers

Ce sont des granulats grossiers, dont les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes : d/D ou $d > 2\text{mm}$ et $D < 31,5\text{mm}$. Pour notre étude, nous utiliserons des concassées de granite de classe 5/25.

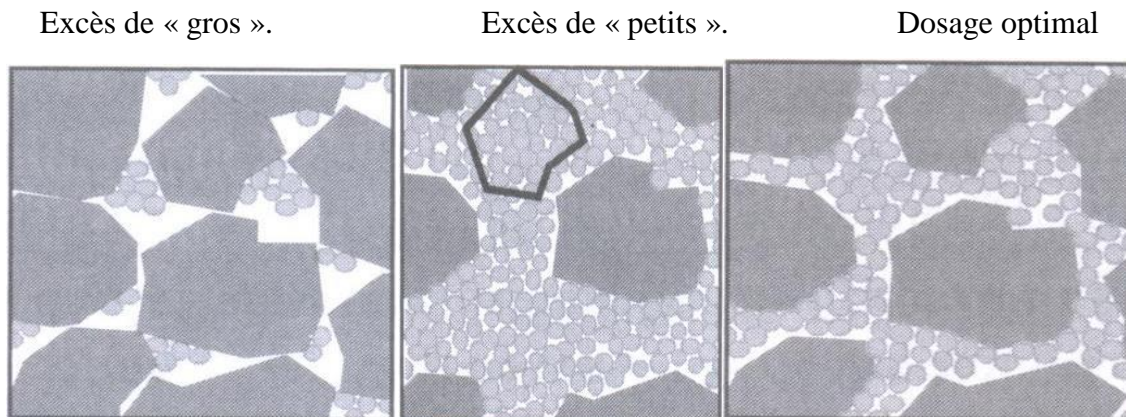


Figure 1 : Optimisation du squelette granulaire[4]

Volume des fines est insuffisant pour combler la porosité propre des gros éléments. (*Figure 1 – Excès de « gros »*)

Zones où des gros pourraient remplacer des plus fins, ce qui diminuerait la porosité de ces zones donc du mélange. (*Figure 1 – Excès de « petits »*)

Porosité minimale. La quantité d'eau pour combler cette porosité est minimisée (*Figure 1 – Dosage optimal*)

☞ Additions

Les performances des Béton à Haute Performance peuvent encore être augmentées par l'optimisation du mélange granulaire grâce à l'ajout de particules tel que les cendres, laitiers de haut fourneau, fillers calcaires, fillers siliceux, éventuellement ultrafines (fumées de silice).

Elles combler les micros vides inter granulaires et densifient l'interface pâte de ciment-granulat.

❖ **Additions: cendre volant.**

Particule avec la même finesse que le ciment. Plus avantageux car améliore l'ouvrabilité, réduit la porosité et moins cher que ciment.

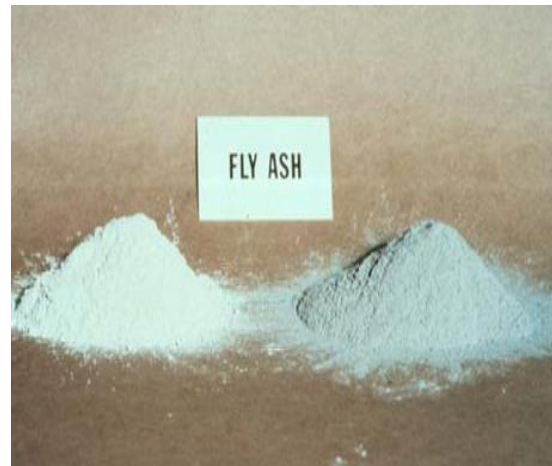
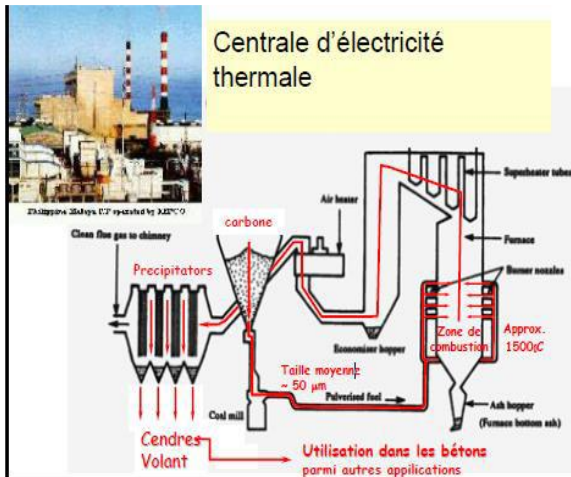


Figure 2 : centrale de la fabrication de cendre volant [4] gauche et le ciment à droite [4]

Figure 3: cendre volant à

❖ **Additions: fumée de silice**

Fumée de silice:

sous produit de production des alliages de silicium

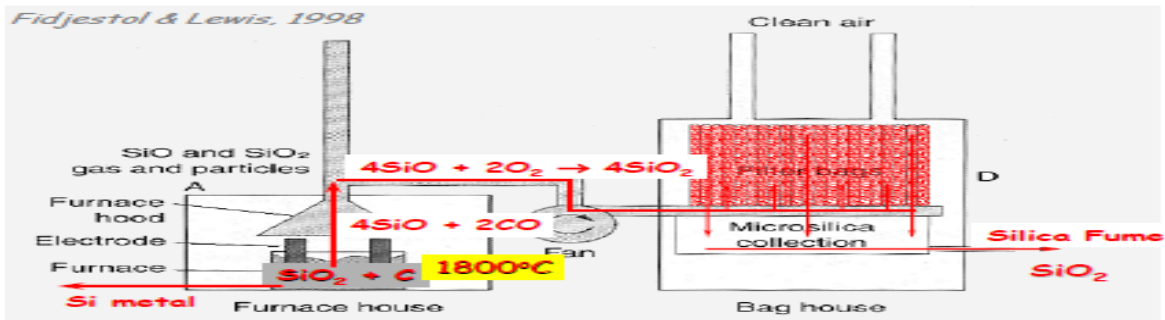


Figure 4 : centrale de fabrication de fumé de silice [4]

Les avantages des fumés de silices sont nombreux : réduction de ressuage et ségrégation, forte réduction de porosité, augmentation de résistance, diminution de perméabilité, augmentation de durabilité et l'amélioration de liaison entre pâte et granulat.

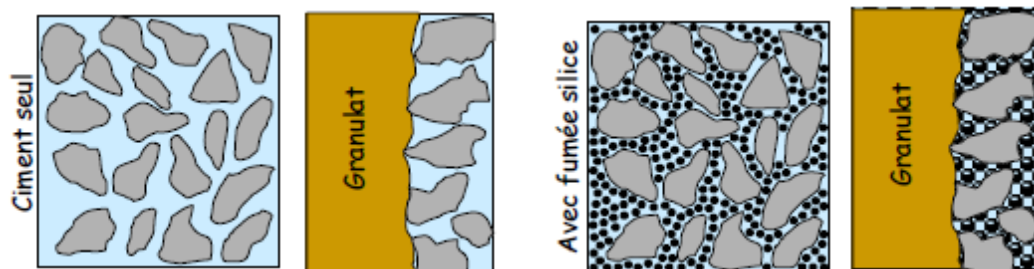


Figure 5: avantages des fumés de silices [4]

☞ **L'adjuvant**

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des proportions bien définies, provoquent une modification des propriétés ou du comportement du béton.

Dans le cadre de notre étude, l'adjuvant utilisé est le chryso-fluide optima 352 EMx (0.3-2.5%), c'est le super plastifiant.

☞ **L'eau de gâchage**

Matériaux permettant la prise du béton, elle est le catalyseur des réactions dans le béton. Elle doit également être propre et non acide. Dans notre étude nous avons utilisée l'eau du robinet (ONEA).

2.2- Description de l'étude

2.2.1- Préparation des matériaux

☞ **Prélèvement**

Cette opération a consisté à aller sur le site où étaient entreposés les granulats et à prélever à l'aide des brouettes et des pelles une quantité suffisante de granite, et de sable pour l'essai.

Pour respecter les classes granulaires prescrites dans le cahier de charge, nous avons :

- Pour le gravier, effectué un tamisage au tamis de 25 mm afin de recueillir les passants qui ont été ensuite passés au tamis de 5 mm pour recueillir les refus.
- Pour le sable, effectué un tamisage au tamis de 5 mm pour recueillir les passants.

☞ **Lavage**

Les matériaux exposés à l'air libre regorgent de débris de feuilles mortes, d'argile et d'impuretés pouvant nuire aux résultats des essais. Pour remédier à cela, nous avons procédé au lavage des matériaux (sables, graviers) jusqu'à évacuation complète des impuretés.

☞ **Séchage**

Le lavage terminé, nous passons au séchage des granulats. Cette opération nous permet de les préparer pour l'analyse granulométrique et la mise en œuvre du béton. Elle s'est déroulée en deux phases, une première au soleil et la seconde à l'aide du réchaud à gaz.

2.2.2- les essais

2.2.2.1- Analyse granulométrique

La méthode granulométrique utilisée est le tamisage. Le tamisage permet de connaître les différents diamètres des grains de sable ou de graviers. Cette méthode consiste à déduire les tailles des granulats en tentant de les faire passer (admission ou refus) dans des orifices de plus en plus petits. Ces orifices sont de maille carrée.

☞ Matériels

<i>Tableau 1 : les matériels utilisés pour analyse granulométrique</i>			
Désignations	Utilités	Nombres	Observations
Une balance	Pesé avec une précision $\pm 1g$	01	En bon état
Un tamis	Tamisage	-8 pour le sable -13 pour le gravier	En bon état
Un seau	prélèvement	02	En bon état
Une brosse	Nettoyage des mailles des tamis	01	En bon état
Une pelle	prélèvement	01	En bon état



Figure 6: une série de 15 tamis sur une tamiseuse utilisée pour l'essai d'analyse granulométrique

☞ Méthodologie

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon (sable-gravier) en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions sont décroissantes. Le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

☞ tamisage

Tamisage du sable

Pour l'analyse granulométrique du sable, les tamis et la quantité d'échantillon utilisés sont selon le tableau ci-dessous :

Tamisage du gravier

Pour l'analyse granulométrique du gravier, les tamis et la quantité d'échantillon utilisés sont selon le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : tamis et échantillon utilisé pour tamisage du sable

Tamis (mm)	Echantillons (kg)
5	3
2,5	
1,25	
0,63	
0,315	
0,16	
0,08	
0,063	

Tableau 3 : tamis et échantillon utilisé pour tamisage du sable

Tamis (mm)	Echantillons (kg)
25	3
20	
16	
14	
12,5	
10	
8	
6,3	
4	
2	
1	
0,063	

2.2.2.2- Formulation du béton

Tableau 4 : caractéristiques du béton formulé

Types béton	Affaissement (cm)	résistance à la compression à 28 jours (MPA)	Classe du ciment	coefficient granulaire (G)
Fluide	18	65	CPA 45	4,9

2.2.2.3- Essai d'affaissement du béton

☞ **Appareillage utilisé**

- ❖ Un moule tronconique sans fond de 320 mm de hauteur, de 160 mm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 mm (± 0.5 mm) de diamètre en sa partie supérieure. Il est construit de

manière à être indéformable. Il doit être muni, au 2/3 de sa hauteur à partir de la base de deux poignées et à sa partie inférieure d'un dispositif de fixation ou d'appuis pour les pieds de l'opérateur ;

- ❖ Une tige de piquage en acier à extrémité hémisphérique de diamètre 16 mm, et de longueur 600mm ;
- ❖ Un portique de mesure constitué de deux montants verticaux distant d'environ 300 mm et relié rigidement à la partie supérieure sur laquelle coulisse une règle de lecture susceptible d'être immobilisée par une vis. L'emploi du portique facilite la détermination de l'affaissement;
- ❖ Une surface d'appui de l'ensemble qui doit être plane, horizontale, rigide et non absorbante, généralement métallique. Notons qu'elle ne doit pas recevoir de chocs ou de vibration pendant l'essai.

2.2.2.4- Ecrasement du béton

☞ Appareil

L'appareil utilisé est la presse manuelle. Elle a une capacité de 1200kN et est munie d'un manomètre sur lequel se fait la lecture de la force de compression.

<i>Tableau 5 : type d'appareil utilisé pour écrasement du béton</i>	
Types d'appareil	Descriptions
presse manuelle	-capacité de 1200kN -manomètre de lecture de la force de compression.



Figure 7: éprouvette de béton sous la presse manuelle prêt pour l'écrasement de béton

☞ Méthode

L'essai consiste à faire écraser l'éprouvette déjà surfacée dans une presse et calculer la résistance correspondante en fonction de la force lue sur le manomètre ; il se fait à 7 jours et à

28 jours. Cependant ne disposant pas de soufre, le surfacage n'a pas pu être effectué sur notre béton.

3- RESULTATS ET DISCUSSION

3.1- L'analyse granulométrique du sable

Les résultats du tamisage sont consignés dans le tableau ci-dessous:

<i>Tableau 6 : résultats du tamisage du sable</i>				
□ □ tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés
5	187	187 g	6,2%	93,8%
2,5	173,5	361 g	12,0%	88,0%
1,25	409,4	770 g	25,7%	74,3%
0,63	890,1	1 660 g	55,3%	44,7%
0,315	923,6	2 584 g	86,1%	13,9%
0,16	267,9	2 852 g	95,1%	5,0%
0,08	49,9	2 901 g	96,7%	3,3%
0,063	7,7	2 909 g	97,0%	3,0%
Fond	12,4	2 922 g	97,4%	2,6%

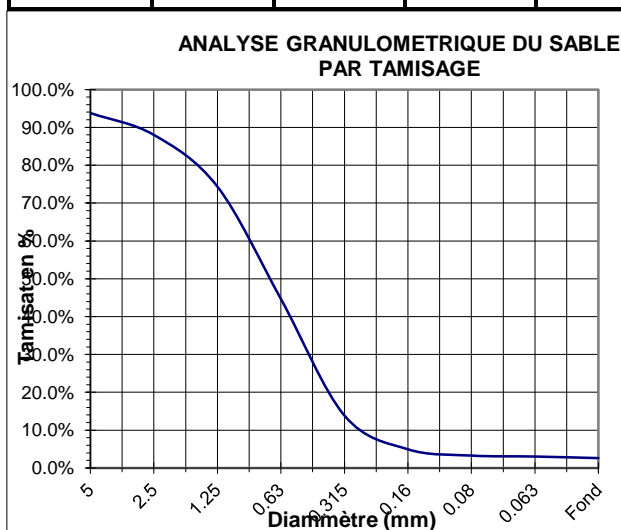


Figure 8 : la courbe de l'analyse granulométrique du sable

L'analyse de la courbe granulométrique du sable (*figure 6*) montre que le sable prélevé pour le béton à haute performance appartient à la classe 0/5. $D = 5 \text{ mm} < 6,3 \text{ mm}$ conformes à la norme NF EN 12620 « Granulats pour bétons » et à la norme XP P 18-545 (article 10: « granulats pour bétons hydrauliques »). [1]

3.2- L'analyse granulométrique du gravier

Tableau 7: résultats de l'analyse granulométrique du gravier				
tamis mm	Refus partiels	Refus cumulés	% Refus cumulés	% Passants cumulés
20	0	0 g	0,0%	100,0%
16	30	30 g	1,0%	99,0%
14	270	300 g	10,0%	90,0%
12,5	300	600 g	20,0%	80,0%
10	450	1 050 g	35,0%	65,0%
8	690	1 740 g	58,0%	42,0%
6,3	630	2 370 g	79,0%	21,0%
4	570	2 940 g	98,0%	2,0%
2	10	2 950 g	98,3%	1,7%
1	20	2 970 g	99,0%	1,0%
0,063	10	2 980 g	99,3%	0,7%
FOND	1	2 981 g	99,4%	0,6%

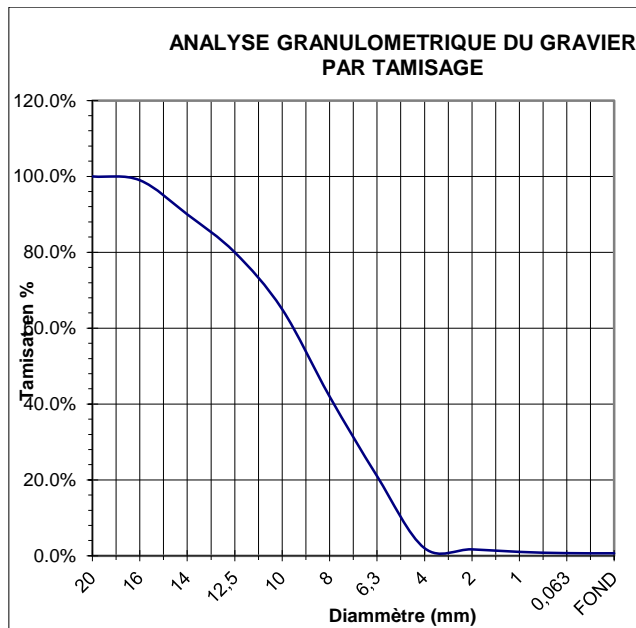


Figure 9 : la courbe de l'analyse granulométrique du gravier

L'analyse de la courbe granulométrique du gravier (*figure 7*) montre que le gravier prélevé pour le béton à haute performance appartient à la classe 0/16. $D = 4 \text{ mm} < 6,3 \text{ mm}$ conformes à la norme NF EN 12620 « Granulats pour bétons » et à la norme XP P 18-545 (article 10: « granulats pour bétons hydrauliques »). [2]

3.3- formulation du béton haute performance

La formulation du béton qui consiste à déterminer les quantités des constituants du béton nous a permis d'avoir les quantités ci-dessous :

	1 m ³	3 éprouvettes = 0,025 m ³
Ciment	638,12 kg	14.0 kg
Eau	191,44 kg	4.3 kg
Super plastifiant	9,57 kg	0.20 kg

Sable	685,71 kg	15.37 kg
Gravier	1072,56 kg	24.05 kg

3.4- Mise en œuvre du B65

Les différentes quantités de granulats obtenues (le gravier et le sable) ont été divisées en deux parts égaux pour permettre un bon malaxage puis mises dans deux brouettes, malaxées jusqu'à ce que cela soit homogène. Ensuite, on a ajouté le ciment puis mélangé une nouvelle fois. Les quantités dans la brouette N°1 sont restées tel que les calculs ont donnés l'affaissement obtenu était de 25 cm ce qui n'est pas satisfaisant. En effet dans la seconde brouette on a réduit la quantité d'eau qui passe de 2,15 litres à 1.9 litres. A l'issu de ces corrections nous obtenons un affaissement final de 21 cm.

Les bétons sont classés en 5 classes de consistance en fonction des affaissements :

Tableau 9 : classification du béton		
Classe de consistance	Affaissement en cm	Consistance du béton
S1	De 1 à 4	Ferme
S2	De 5 à 9	Plastique
S3	De 10 à 15	Très plastique
S4	De 16 à 21	Fluide
S5	≥ 22	Très fluide

D'après l'analyse du tableau de classification (*tableau 9*) nous avons un béton fluide.

Les conditions ainsi réunies, le béton est mis dans deux moules cylindriques puis vibré en deux couches successives. Durant 2jours les moules sont conservés de manière à éviter le phénomène de ressuage. A l'issu de cela, nous procédons au démoulage et la mise en eau durant 5jours.

3.5- Ecrasement du béton

<i>Tableau 10: Résultats de l'essai d'écrasement du béton</i>		
Eprouvette N°1	1180 KN	58,5 MPa
Eprouvette N°2	1035 KN	67,5 MPa

Nous adoptons la moyenne de 62,7 MPa.

$$f_{cj} = \frac{j}{1.4+0.95j} \cdot f_{c28} \text{ pour } f_{c28} > 65\text{MPa donc } f_{c7} = \mathbf{56,52} \text{ MPa pour } j = 7\text{jours}$$

La formulation faite au laboratoire devrait nous donner à 7jours d'âge une résistance

$f_{c7} \geq 56,52$ MPa. Le résultat obtenu est satisfaisant car à 7jours nous avons atteint 62,7MPa de la résistance souhaitée (65 MPa).

<i>Tableau 11: Résultats de l'essai d'écrasement du béton</i>	
Jours	Contraintes du béton (MPa)
0	0
14	61,90
28	65
60	66.78

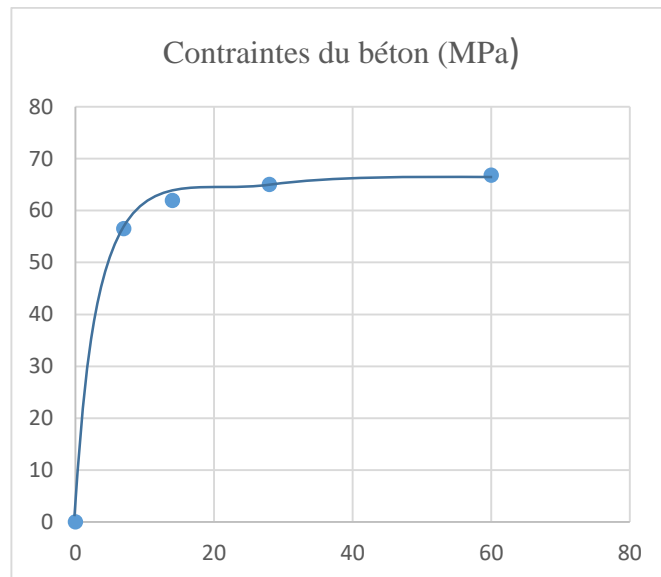


Figure 10 : courbe des contraintes de compression du béton

L'analyse de la courbe des contraintes de compression du béton en fonction des jours montre que la contrainte du béton croisse de 0 à 28 jours. Au-delà de 28 jours dans la contrainte n'évolue plus. Cela veut dire que dans un béton la contrainte maximale est atteinte à 28 jours.

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 03, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

La résistance visée est de 65 MPa. Les résistances obtenues après essai de compression à 7 jours est de 62,7MPa.

A travers ce résultat obtenu nous constatons que cette valeur est nettement supérieure à la valeur théorique 56,52MPa à 7 jours.

CONCLUSION

Nous partons du constat qu'à l'issue des différents essais de laboratoire, nonobstant la non utilisation des ajouts les résultats obtenus répondaient à nos attentes et nous pouvons affirmer que ce fut une belle expérience qui nous a permis d'acquérir d'avantages de nouvelles connaissances sur les BHP. A cette époque de 21^{ème} siècle, avec un changement climatique brutal où les ouvrages de béton sont beaucoup plus sollicités, les bétons aux nouvelles performances sont une solution idéale pour la protection environnementale et la sauvegarde des espèces vivantes. C'est la raison pour laquelle des études plus poussées sur d'autres béton aux nouvelles performances tel que béton ultra haute performance, les bétons autoportants s'avère indispensable.

BIBLIOGRAPHIE

- ✓ Hager, I., & Pimienta, P. (2005). Déformation thermique transitoire des bétons à haute performance: Etude expérimentale. *Revue européenne de génie civil*, 9(3), 373-383.
- ✓ Saric-Coric, M., & Aïtcin, P. C. (2003). Bétons à haute performance à base de ciments composés contenant du laitier et de la fumée de silice. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(2), 414-428.
- ✓ Noumowe, A. (1995). *Effet de hautes températures (20-600° C) sur le béton: cas particulier du béton à hautes performances* (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- ✓ Pigeon, M., Gagné, R., Aïtcin, P. C., & Langlois, M. (1992). La durabilité au gel des bétons à haute performance. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 19(6), 975-980.
- ✓ Tighiouart, B., Benmokrane, B., & Baalbaki, W. (1994). Caractéristiques mécaniques et élastiques de bétons à haute performance confectionnés avec différents types de gros granulats. *Materials and Structures*, 27(4), 211-221.

Review University Without Borders for the Open Society (RUFSSO)

ISSN: 2313-285X Volume :23, Issue : 03, February 2021

Content available at <http://www.rufso.org/publications>

- ✓ Tshimanga, M. K. (2007). *Influence des paramètres de formulation sur le comportement à haute température des bétons* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, université de Cergy-Pontoise).
- ✓ Mindeguia, J. C. (2009). *Contribution expérimentale à la compréhension des risques d'instabilité thermique des bétons* (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).
- ✓ Braïke, S., Massicotte, B., & Charron, J. P. (2002). Conception des ponts en bétons fibrés à haute et ultra haute performance. *Collection de la Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées LCPC, 198.*

- AUTRES REFERENCES

[1] : BAROGHEL - BOUNYV. Les spécificités des bétons à hautes performances Paris : LCPC, 2004

[2] : Le site web du centre d'information : <http://www.infociments.fr/betons/composition>
collection technique cim-béton, « les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre »

[3] : Projet National BHP 2000 - Les bétons à hautes performances Guides pratiques (3 tomes)
Paris : IREX, 2002, 2003

[4] : Adama MESSAH .Bétons spéciaux : Bétons aux nouvelles performances & Bétons apparents