

---

# Influence de la Poudre de Granit sur le Comportement Mécanique et Rhéologique du Béton Autoplaçant

Rahmani Farida \*, Haddad Ouerdia \*, Kaci Salah \*

\*Laboratoire LaMoMS, Université Mouloud Mammeri de Tizi  
Ouzou.

Email : [salah\\_kaci57@yahoo.fr](mailto:salah_kaci57@yahoo.fr)

## **Résumé :**

Dans cette étude, nous montrons que l'ajout de poudre de granit (déchet de matériau de construction très finement broyé) en substitution partielle du ciment portland (nécessaire à la composition et à la formulation du composite de béton autoplaçant) conserve bien les caractéristiques mécaniques et rhéologiques, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci, de ce composite. Cette substitution partielle permet à la fois de réaliser un gain de ciment (gain d'argent), de réduire la teneur en dioxyde de carbone généré lors de la fabrication du ciment portland (respect de l'environnement) et de mettre en valeur le déchet de récupération (moindre coût).

## 1. Introduction

Le béton autoplaçant est le plus utilisé dans la construction moderne, il a été développé pour la première fois en 1988 [1], bien que la nécessité de ce type de béton ait été proposée par Okamura en 1986. Ce type de béton a été utilisé dans des structures pratiques au Japon, [ 2,3].

Une grande partie des travaux est effectuée sur du béton plaçant tel que: des travaux sur la méthode de formulation de sa composition [4,5], Le rôle de la distribution granulométrique dans le béton autoparticulant [6,7,8]; les paramètres de la composition sur le comportement du béton auto-compactant [9,10,11]; L'effet du superplastifiant et de l'E / C a été mis au point [12,13,14,15,16] .La durabilité du béton autocompactant à haute résistance a été expérimentée par N.Venkatrao [17]; M. Akanksha [18]; K.Kapoor [19]; B. Preethiwini [20] et R.Challagalli [21,22].

Les ajouts de ciment finement broyés remplissent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide, ce qui permet de réduire la quantité d'eau. Le rôle propre du superplastifiant est essentiellement le défloculant, qui génère des grappes d'ultra-fins qui se forment lors du mélange et leur permet de jouer leur rôle de façon granulaire. Les normes conviennent de définir comme "filer" les éléments passant à travers un tamis de 80µm.

Les ajouts de minéraux jouent un rôle extrêmement important dans la technologie du béton d'aujourd'hui. En outre, leur utilisation est également un élément important de la stratégie de développement durable, qui permet de réduire les émissions de CO2 dans la production de ciment, d'obtenir une gestion des déchets économique et efficace et de réduire la consommation d'énergie. Les effets principaux de l'utilisation d'additifs minéraux sont largement présentés dans de nombreuses études, telles que l'utilisation de fumée de silice [23,24], de boue rouge [25], de mouche du frêne [26,27,28,29], de poudre de marbre [ 30,31,32], résidus de polissage de porcelaine [33], poudre de verre [34,35], poussières de carrière [36], béton recyclé fin [37,38] dans le béton pour une meilleure gestion des déchets.

### 1.1. Importance de la recherche

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'influence de la poudre de granit (remplacement partiel du ciment) et du sable de dunes du désert sur la formulation et au comportement rhéologique, mécanique et de durabilité du béton autoplaçant conformément à l'AFGC 2008 et à la NF EN 206-2014.

## 2. matériaux et méthodes

Les mélanges de béton auto-compactants utilisés dans cette recherche étaient constitués des composants suivants:

Ciment Portland CEM II 42.5R: Super plastifiant TEMPO 12 d'une masse volumique de 1,06 g / cm<sup>3</sup> à raison de 29,5% d'extrait sec en poids avec le pH égal à 5,5 et teneur en Na<sub>2</sub>O Eq. ≤ 1% .Granite en poudre d'une masse volumique moyenne de 2,67 g / cm<sup>3</sup>, une fraction de granulométrie ≤ 80µm faisant office de charge fine, deux classes de graviers calcaires de masse volumique de 2,67 g / cm<sup>3</sup> ont été choisis: 3/8 et 8/15. Le sable utilisé est un sable de dune 0/4 de nature siliceuse avec une masse volumique de 2,67 g / cm<sup>3</sup> également de l'eau du robinet. Le rapport E / C était constant et égal à 0,4.

À partir des ingrédients mentionnés ci-dessus, un total de 8 mélanges de béton auto-compactants ont été préparés, à partir desquels un mélange a été préparé sans addition de poudre de granit à titre de référence. Dans chaque mélange, la poudre de granit naturelle a été remplacée par du ciment dans une proportion de 0%, 5%, 10% et 15% en volume. Le tableau 1 présente un résumé des compositions des mélanges conçus par m<sup>3</sup>. Ces mélanges portent les symboles S1 S8.

L'homogénéisation de chaque mélange a été réalisée dans un mélangeur mécanique en deux étapes. Dans un premier temps, le ciment avec agrégat et l'addition de poudre de granit ont été agités pendant 1 minute et après l'addition d'eau combinée au super plastifiant, le tout a ensuite été agité pendant 2 minutes supplémentaires.

L'ensemble du programme de test était divisé en trois parties

- 1) Propriétés à l'état frais.
- 2) Enquêtes de force.
- 3) Enquêtes de durabilité.

Tableau 1 Résumé des compositions des mélanges de béton auto-compactants conçus par mètre cube.

N°of mix	Eau(kg)	Ciment (kg)	Granite(kg)	Sable (kg)	Gravelette 3/8(kg)	Grav 18/15(kg)	SP(kg)
S1	184.93	400.00	00.00	866.00	433.00	433.00	6
S2	183.21	397.91	17.22	846.40	423.20	423.20	6
S3	182.10	359.91	34.44	846.40	423.20	423.20	6
S4	180.99	339.92	51.66	846.40	423.20	423.20	6
S5	184.93	400.00	0.00	866.00	433.00	433.00	7
S6	183.21	379.91	17.22	846.40	423.20	423.20	7
S7	182.10	359.91	34.44	846.40	423.20	423.20	7
S8	180.99	339.92	51.22	846.40	423.20	423.20	7

**Propriétés à l'état frais:** La rhéologie du béton auto-compactant est caractérisé par sa capacité d'écoulement, sa capacité de passage, sa capacité de remplissage et sa résistance à la ségrégation. Pour que tout béton soit qualifié d'auto-compactant, il doit posséder les caractéristiques susmentionnées. Dans cette expérience, les méthodes de test suivantes suggérées par AFGC ont été utilisées. Test d'affaissement pour la capacité d'écoulement, T500 pour la viscosité et test de la boîte en L pour la vérification de la capacité de passage. La résistance à la ségrégation a été observée visuellement lors du test d'affaissement. Le tableau 2 indique les valeurs recommandées par AFGC de SCC pour des besoins structurels pour différents tests.

Table 2 plages typiques de valeurs pour différents tests pour SCC.

sr.No.	Method	Unit	Typical range of values	
			Minimum	Maximum
1	Slump Flow	mm	550	800
2	T500 slump flow	Sec	02.0	05.0
3	L-box	(h2/h1)	00.8	01.0
4	sieve stability test	%	00.0	15.0

*2) essai sur la force:* À partir de chaque mélange, une série de trois cubes ayant des dimensions de 150 x 150 x 150 mm a été réalisée afin de rechercher la résistance à la compression. Ces séries ont été marquées de manière analogue aux mélanges à partir desquels elles ont été fabriquées, à savoir S1 S8. Des tests de résistance ont été effectués après 28 jours. Tous les échantillons ont été durcis dans une chambre climatique à une température de 20 ° C ( $\pm 1$  ° C) et avec une humidité relative de 95% ( $\pm 5$ %).

Béton (Essai sur colonne): L'essai pour contrôler la ségrégation statique d'un béton auto-plaçant consiste à confectionner un échantillon cylindrique, de 11 cm de diamètre et à 40 cm de hauteur, de béton durci est coupé sous forme de disques et pour observer la répartition des agrégats dans les parties supérieure, centrale et inférieure de l'éprouvette.

**3) Essai sur la durabilité:** les études ont été menées à 28, 90, 180 et 365 jours pour des mélanges afin de déterminer la résistance à l'attaque par l'acide, à l'attaque par les sulfates et à l'absorption d'eau.

l'absorption et les vides perméables ont été déterminés sur des cubes de 150 x 150 x 150 mm pour chaque mélange. Les spécimens secs à la surface saturée ont été conservés dans un air chaud jusqu'à atteindre un poids constant. Le rapport entre la différence entre la masse de l'échantillon sec de surface saturé et la masse de l'échantillon séché au four donne les vides perméables en pourcentage, comme indiqué ci-dessous:

$$\text{Vides perméables} = [(W1 - W2) / V] \times 100$$

Où, W1 = poids du spécimen saturé séché en surface après une période d'immersion de 28 jours. W2 = poids de l'échantillon séché au four dans l'air et V = volume de l'échantillon.

Les cubes séchés au four après avoir atteint un poids constant ont ensuite été immergés dans de l'eau et le gain de poids a été mesuré à intervalles réguliers jusqu'à atteindre un poids constant.

**Résistance aux acides:** La résistance à l'acide a été testée sur un cube de spécimens de 150 x 150 x 150 mm (S5 = 0%, S7 = 10%) à l'âge de 28 jours de guérison. les échantillons ont été pesés et immergés dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à pH <4 maintenu constant pendant l'essai "classes d'exposition XA3 correspondant aux attaques chimiques par le sol et les eaux souterraines naturelles selon la norme NF EN 206-2014". Ensuite, les échantillons ont été retirés de l'eau acide et les surfaces des cubes ont été nettoyées. Nous avons ensuite déterminé le poids et la résistance à la compression des éprouvettes et calculé le pourcentage moyen de perte de poids et de résistance à la compression pendant 28, 90, 180 et 365 jours..

**Résistance aux sulfates :** La procédure d'essai d'attaque au sulfate a été réalisée en immergeant des échantillons de béton (S5 = 0%, S7 = 10%) de la taille de 150 x 150 x 150 mm au-dessus du durcissement initial spécifié dans un réservoir d'eau. Ensuite, ils ont été durcis dans une solution de sulfate de sodium SO<sub>4</sub> à 5% pendant 28, 90, 180 et 365 jours respectivement. Ce type d'essai représente une procédure d'essai accélérée, qui indique les performances d'un béton à l'autre. Le degré d'attaque au sulfate a été évalué en mesurant les pertes de poids des échantillons.

**Taux de vide et absorption d'eau:** Dans la présente étude, le pourcentage d'absorption d'eau et le pourcentage de vides perméables ont été déterminés conformément au mode opératoire indiqué dans ASTM. Le travers de la "peau de béton" selon la norme NF EN 13390-8.

**Perméabilité à l'eau, perte de poids:** Le principe du test de perméabilité à l'eau repose sur une mesure de la pénétration d'eau sous pression. Le principe de l'essai consiste à placer les éprouvettes dans l'appareil à pression d'eau pendant 72 heures, puis à découper l'échantillon. deux et mesurer la hauteur de l'eau à pénétrer qui ne devrait pas dépasser 4cm fig.1.

fig.1 water permeability test



### 3. Résultats et discussions:

Propriétés à l'état frais: Les résultats obtenus par des essais de béton frais sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Propriétés de SCC à l'état frais

N°of mix	Slump Flow, mm	T500 Slump Flow, sec	L Box, H1/H2	sieve stability test
S1	72.5	3.2	0.83	12.60
S2	73.0	3.2	0.81	13.10
S3	67.5	3.4	0.79	13.00
S4	50.0	3.6	0.78	13.50
S5	78.5	3.0	0.85	12.83
S6	66.5	3.2	0.83	13.00
S7	67.5	3.2	0.81	13.07
S8	60.0	3.4	0.77	13.34

fig.2. Résultats Test de débit d'affaissement

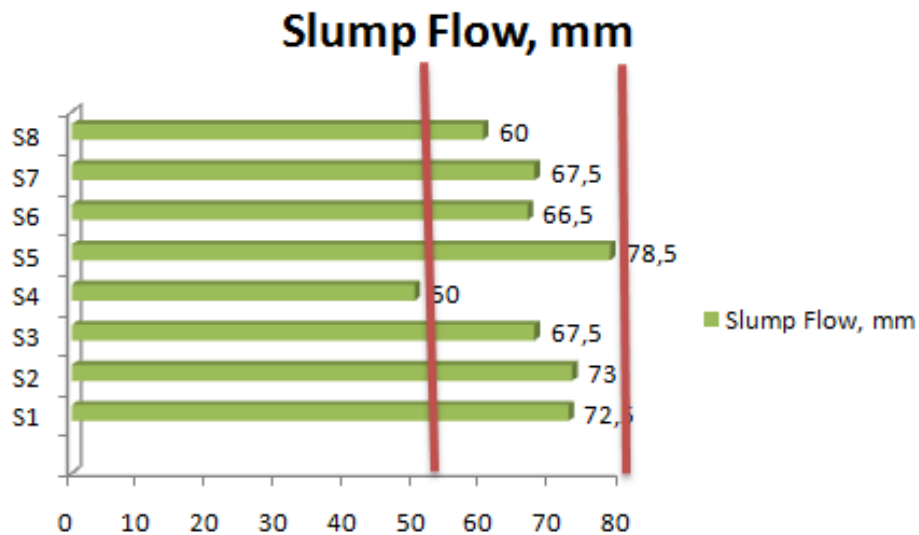


fig.3. Résultats T500 Test d'affaissement

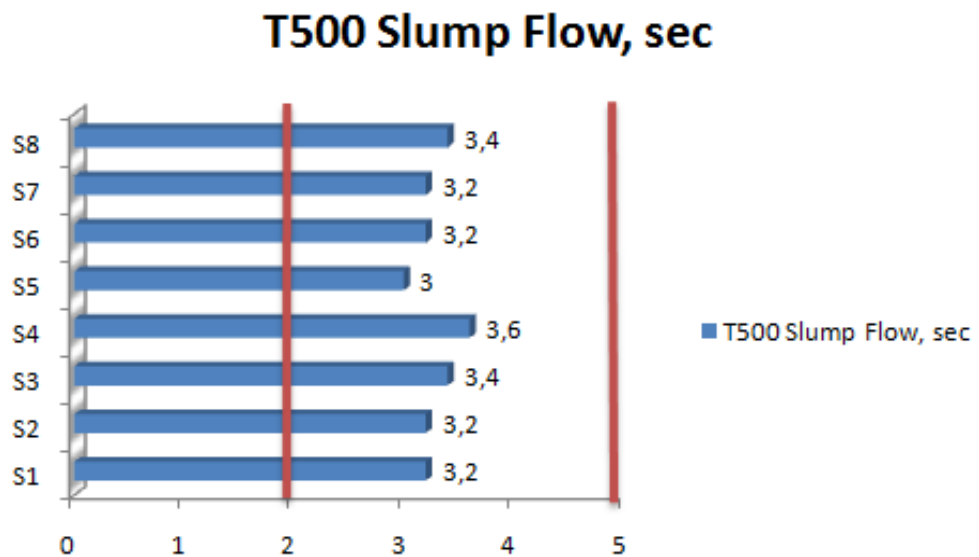
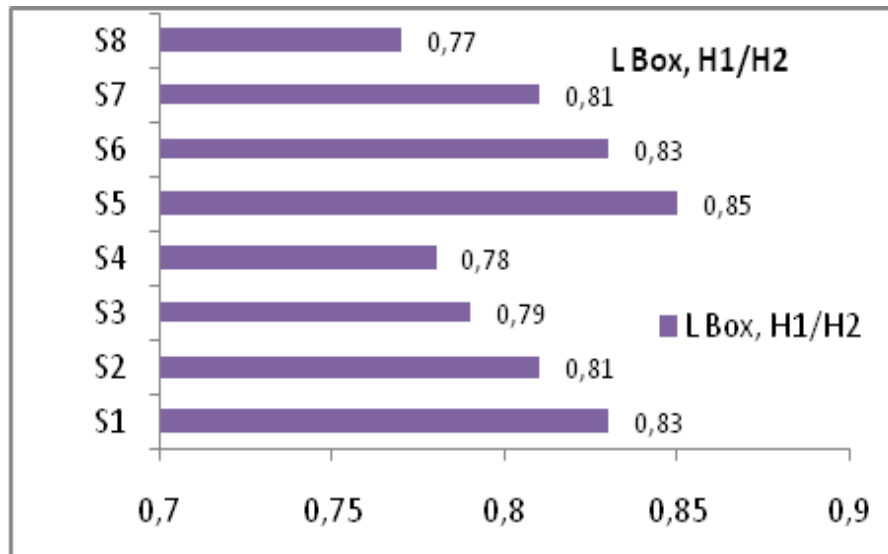


fig.4. Results Lbox test



*Études de résistance: Les résultats des études de résistance de tous les mélanges ont été rassemblés dans le tableau 4.*

**Tableau 4 Résultats de résistance à la compression**

N°of mix	résistance à la compression MPAS	Résistance à la traction MPAS
S1	53.80	6.13
S2	41.70	6.34
S3	40.40	6.41
S4	39.50	4.51
S5	45.32	6.51
S6	45.31	7.27
S7	43.90	6.44
S8	41.20	6.32

Fig. 5. Résultats des études de résistance pour tous les mélanges

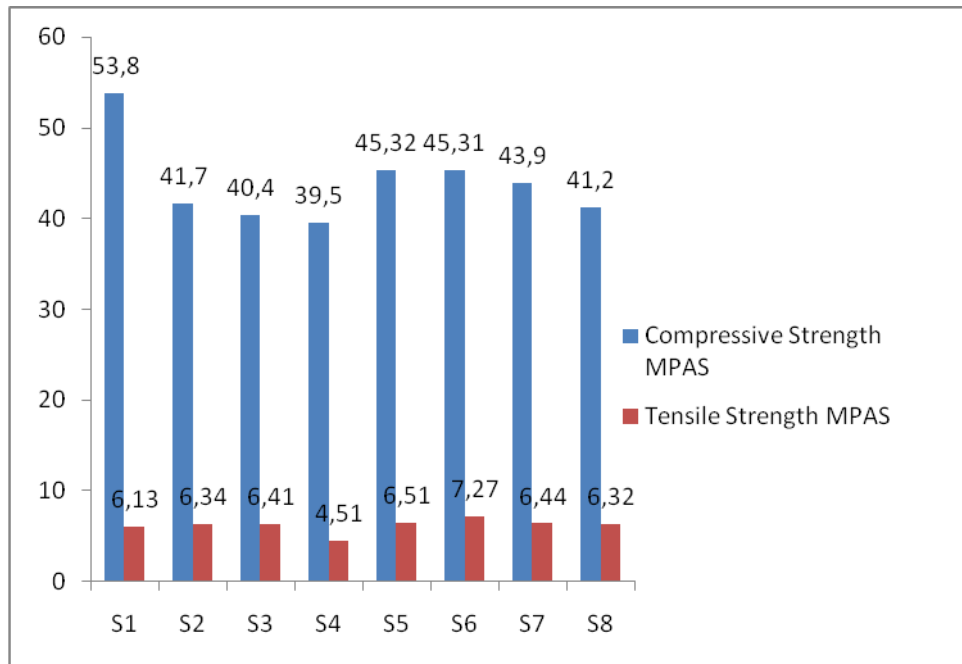


fig.6. Observation of the distribution of aggregates for the self-placing concrete



Table 5 Results of Absorption tests

N° of mix	% Water Absorption	water Permeability cm
S1	2.38	1.40
S2	3.12	1.50
S3	2.86	1.40
S4	2.68	1.40
S5	2.31	1.60
S6	3.08	1.5
S7	3.48	1.70
S8	3.25	1.70

Fig. 7. The results of the water Permeability all the mixes



Fig. 8. The results of variations the water Permeability and Water Absorption

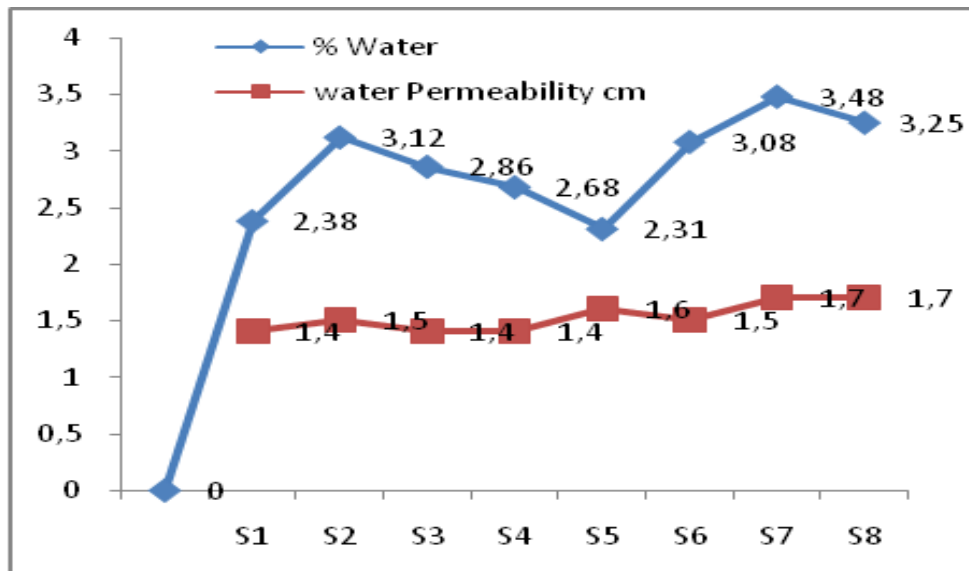


Table 6 results of durability tests in the acid in environment for the duration of three months

N° of mix	Acid			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass
S5	8.18	48.00	no change in form but color change to brick red	0.00
S7	8.15	44.80	no change in form but color change to brick red	0.00

Table7 results of durability tests in the sulfate in environment for the duration of three months

N° of mix	Sulfate			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.12	49.00	no change neither color nor form	0.00
S7	8.17	47.00	no change neither color nor form	0.00



Table 8 results of durability tests in the acid environment for the duration of six months

N° of mix	Acid			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass
S5	8.09	50.83	no change in form but color change to brick red	0.00
S7	8.08	56.68	no change in form but color change to brick red	0.00

Table 9 results of durability tests in the sulphuric environment for the duration of six month

N° of mix	Sulfat			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.12	58.64	no change neither color nor form	0.00
S7	8.20	54.97	no change neither color nor form	0.00

Table 10 result of the tests durability in the acid environment for the duration of the nine month

N° of mix	Acid			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.03	49.70	no change in form but color change to brick red	0.00
S7	8.18	43.50	no change in form but color change to brick red	0.00

Table 11 result of the tests durability in the sulphuric acid environment for the duration of the nine months

N° of mix	Sulfate			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.18	59.00	no change neither color nor form	0.00
S7	8.01	56.00	no change neither color nor form	0.00

Table 12 result of the tests durability in the acid environment for the duration of the 12 months

N° of mix	Acid			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.05	33.17	no change in form but color change to brick red	0.00
S7	8.09	29.40	no change in form but color change to brick red	0.00

Table 13 result of the tests durability in the sulphuric environment for the duration of the 12 months

N° of mix	Sulfate			
	Mass kg	Compressive Strength MPAS	visual aspect	a loss of mass kg
S5	8.03	39.78	no change neither color nor form	0.00
S7	8.20	38.90	no change neither color nor form	0.00

Fig. 9. The results of the visual aspect all the mixes in the sulphuric acid environment for the duration of the 12 months

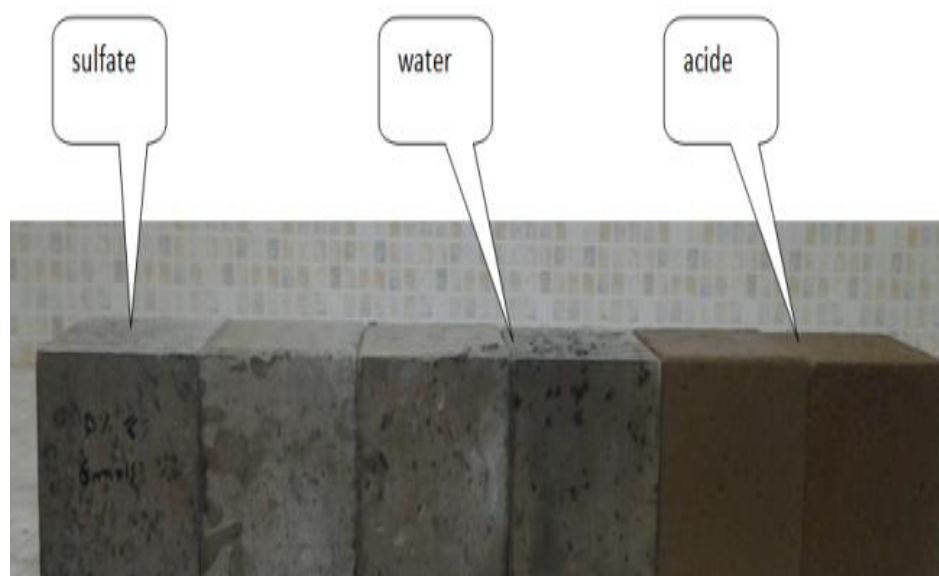
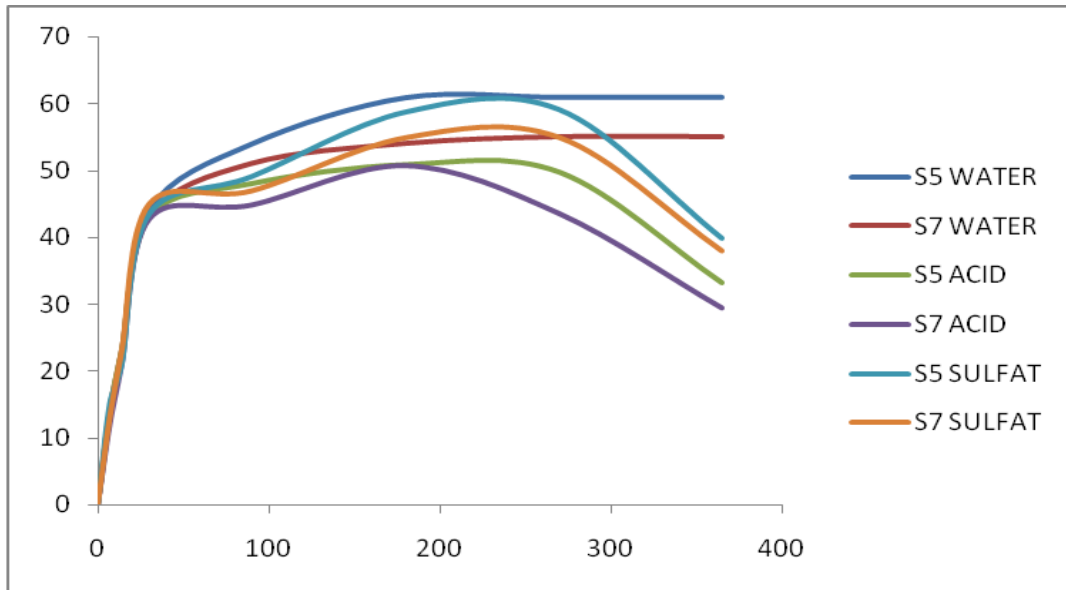


Fig. 10. laws of behavior all the mixes in the sulphuric ,acid and water environment for the duration of the 12 months



## 4.conclusion

Cette étude vise à valoriser les déchets industriels et les dépôts naturels dans le domaine de la construction. Les premiers résultats partiels obtenus au cours de cette étude sont très encourageants. Ces performances sont probablement dues à la modification de la microstructure de la pâte de ciment dans le sens d'une augmentation de la compacité. Ainsi, ces résultats partiels de notre étude montrent la nécessité d'utiliser le sable de dune ainsi que de la poudre de granit en substitution partielle du ciment car les performances rhéologiques, mécaniques et de durabilité des ces types de bétons autoplaçants semblent rester similaires à celles d'un béton témoin. Il serait donc très profitable d'utiliser le sable de dune en remplacement total du sable de rivière. Il serait aussi intéressant de substituer de la poudre de granit au ciment à raison de dix pour cent.

Ces résultats de tests partiels et encourageants méritent d'être approfondis, et nécessitent d'avantages d'analyse et d'explication. Ceci fera donc l'objet de la suite de cette étude en guise de perspective.

## References

- [1] H. Okamura, K. Ozawa..Mixed-design for self-compacting concrete. Concrete Library of JSCE. 1995;vol. 25, pp. 107-120.
- [2] H. Okamura, K. Ozawa, M. Ouchi. Self-compacting concrete. Structural Concrete,2000, 1, No. 1 March. 3-17.
- [3] H. Okamura ,M. Ouchi. Self-compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology. 2003;vol. 1, no. 1, pp. 5-15.
- [4] J. Shen.2008.Mix-design method of self-compacting concretes for pre-cast industry. Can. J. Civ. Eng. 2008; 36: 1459–1469.
- [5] O. Taleb, F.Ghomari, M.Amine Boukli. H, El-Hadj Kadri & H.Soualhi .Journal of Adhesion Science and Technology. 2016 VOL. 31, NO. 3, 272-296.
- [6] H.J.H.Brouwers.. Self-compacting Concrete: The role of the particle size distribution. First International Symposium on design, performance and Use Of Self--consolidating concreteSCC2005-china,26-28May2005,Changsha, Hauman ,China.
- [7] S. Mahesh.Self Compacting Concrete And Its Properties. Journal of Engineering Research and Applications. 2014; Vol. 4, Issue 8( Version 7), August 2014, pp.72-80.
- [8] A. Salah, E.Belaidi, S. Kenai, El-Hadj Kadri, H.Soualhi &B. Benchaâ. Effects of experimental ternary cements on fresh and hardened properties of self-compacting concretes. Journal of Adhesion Science and Technology.2015,Vol30,N°03,pp247-261.
- [9] N.Bouhamou.2008. influence of the parameters of the composition on the behavior of self-compacting concrete in the fresh and hardened state .Afique Science 04(1),1-20.
- [10] KS Johnsirani .2015.Studies on Effect of Mineral Admixtures on Durability of Self Compacting Concrete. European Journal of Advances in Engineering and Technology, 2015, 2(7): 87-94.
- [11] M. Fadhil .2011.Effect of mix composition on workability and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete. Can. J. Civ. Eng. 38: 1196–1203 (2011).
- [12] N. Bouhamou.Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état durci du bétonautoplaçant a base de matériaux locaux algériens, Rev. can. génie civ. 36: 1195–1206 (2009).
- [13] R.Dubey.Effect of super plasticizer dosages on compressive strength of self compacting concrete. International journal of Civil and structural Engineering, Volume3,N°2,2012.
- [14] M.Reddy. Effect of W/C Ratio on Workability and Mechanical Properties of High Strength Self Compacting Concrete.2013; volume 3,Issue1,pp06-13

- [15] S.M.Dume .Effect of superplasticizer on fresh and Hardened properties of self concrete containing fly ash.American Journal of Engineering Research (AJER). 2014,Volume 03,Issue03 ,pp205-211.
- [16] J.peng.Influence of suerplasticizer on the rheology of fresh cement asphalt paste. Case studies in construction Materials. 2015,3( 2015),9-18.
- [17] N. Venkat rao .An experimental study on durability of high strength Self compacting concrete (hsscc). IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 2013Volume: 02 Issue: 12.
- [18] Ms. Akanksha Anantrao Patil, Prof. M. R. Vyawahare. Comparative study on Durability of Self cured SCC and Normally cured SCC. International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET) .2014,Volume 3, Issue 8.
- [19] K.Kapoor. Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures. Construction and Building Materials.2016, 128 (2016) 67–76.
- [19] R.Challagalli & G.S.Hiremath. Comparative Study on Durability Properties of Self-Compacting Concrete Produced Using Different Pozzolanas. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) .2017,Vol-3, Issue-9.
- [21] B. Preethiwini. Comparative study on durability Characteristics of high strength Self compacting concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), .2017,Volume 8, Issue 3.
- [22] R.Vasusmith. Strength And Durability Study Of High Strength Self Compacting Concrete. International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMME) . 2013,Volume 1, Issue 1.
- [23] S.Alsanusi, Influence of silica fume of self compacting concrete",International Journal of Civil and Envirenement al Engineering . . 2013,vol. 07, N 05.
- [24] Y.Mohammadi, S.Sajjad Mousavi. The effect of silica fume on the Properties of self compacted lightweight Concrete. Current World Environment ,2014,vol 10, Issue 1.
- [25] P.Akhtar, M.C. Paliwal, V. K. Singh. "Experimental Investigation and Cost Analysis of Self Compacting Concrete by using Red Mud" , IJEDR. 2017, Vole 5, Issue 3.
- [26] S.Arivalagan.Experimental Analysis of Self Compacting Concrete Incorporating Different Range of High Volumes of Class F Fly Ash.Scholars Journal of Engineering and Technology .2013, 1(3).
- [27] U.N.Shah,C.D.Modheda.Study on fresh of self compacting concrete with process fly ash. International Journal of Research in Engineering et Technology.2014 ,Vol 2, Issu 5.
- [28] M.Jalal, A.Pouladkhan.Comparative study on effects of class F fly ash , nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete. Construction and Building Materials. 2015, 94,90-104.
- [29] V. Boel , K. Audenaert, G. De Schutter , G. Heirman , L. Vandewalle ,B. Desmet ,J. Vantomme.2007. Transport properties of self compacting concrete with limestone filler or fly ash. Materials and Structures (2007) 40:507–516.
- [30] R.Chaid,R.Jauberthie,J.Zeghiche, ."Impact de la poudre de marber conjuguée au calcaire duCEMIIsur la durabilité du béton" ,EJECE". 2011,Vol 15,N03, pp427-445.
- [31] D.KumarAshish.Feasibility of waste marble powder in concrete as partial substitution of cement and sand amalgam for sustainable growth. Journal of Building Engineering JOBE371,2017.
- [32] G. Cagin Ulubeyli, T. Bilir, R. Artir. Durability Properties of Concrete Produced by Marble Waste as Aggregate or Mineral Additives. Procedia Engineering 161 ( 2016 ) 543 – 548.
- [33] P. Ricardo, L.Roberto Prudêncio Jr, A.e Lima, F. Pelisser , P. Jean Paul Gleize. Use of porcelain polishing residue as a supplementary cimentitious material in self-compacting concrete. Construction and Building Materials .2018,193 (2018) 623–630.
- [34] G.Lavanya, R.Karuppasamy. experimental study on concrete using glass powder and granite powder. International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT) .2016,Volume 4 Issue 4.
- [35] S. Kim, S.Choi ,E . Yang. Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate. Construction and Building Materials 184 (2018) 269–277.