

Effets du mode de cure sur le comportement des bétons autoplaçants

Mohamed SALHI¹, Alex LI², Mohamed GHRICI³

¹University of Relizane, Bourmadia, Algeria, mail: salhi8@yahoo.fr

²Université de Reims Champagne Ardenne, France, mail : alex.li@univ-reims.fr

³University of Chlef, BP 151 Hay-es-Salam, Chlef, Algeria, mail: m_ghrici@yahoo.fr

Résumé: Cette étude expérimentale présente l'effet du mode de cure et la durée de cure initiale sur les propriétés des bétons autoplaçants (BAP) à base d'un ciment CEM II-A42.5. Il s'agit d'étudier l'influence du mode de cure sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression), la vitesse ultrasonique (UPV). Trois rapports Eau/Liant ($E/L=0.32, 0.38, 0.44$) ont été utilisés pour avoir trois classes de résistance mécanique. Cinq régimes de cure ont été appliqués sur les BAP en variant la durée et la condition de la conservation des éprouvettes en BAP. Les résultats de la résistance à la compression obtenus montrent qu'une durée de cure de sept jours dans l'eau suivie d'un mûrissement dans le climat chaud (CC) est meilleure en comparant avec les quatre autres régimes de cure. Les résultats montrent bien qu'il y a une bonne relation entre UPV et la résistance à la compression.

Mots clés : SCC, durée de cure, UPV, Climat chaud

Abstract: This experimental study presents the effect of cure mode and the duration of initial cure on the properties of self compacting concrete (SCC) by using a cement CEM II-A42.5. This work is focused to the influence of the cure mode on the mechanical properties (compressive strength) and the ultrasonic velocity (UPV). Three water/binder ratios ($W/B=0.32, 0.38, 0.44$) have been used in order to have three ranges of mechanical resistance. Five regimes of cure have been applied on the BAP in varying the duration and the status of the conservation of the specimens in the SCC. The results of the compressive strength obtained show that the duration of cure for seven days in the water followed by a ripening in the warm climate (CC) is better by comparing with the four other regimes of cure. The results show that there is a good relation between UPV and the compressive strength.

Key words: SCC, Duration of cure, UPV, Hot Climate

1. Introduction

Le béton autoplaçant (BAP), qui est l'un des développements récents dans la technologie du béton, présente des avantages évidents par rapport aux bétons ordinaires. En possédant une grande fluidité et une résistance suffisante à la ségrégation, les BAP peuvent se mettre en place d'une manière homogène sous l'effet de son poids propre sans aucune intervention de vibration, même dans les zones fortement ferrallées ou avec les coffrages géométriquement complexes. Les compositions tirées de la littérature [BOU 00] [SHE 09] soulignent que les BAP contiennent un volume de fines plus important que les bétons ordinaires et incorporent des adjuvants tels que le superplastifiant et parfois un agent de viscosité. Le volume de pâte dans les BAP est plus élevée que dans le béton ordinaire, la taille maximale des granulats est limitée à 20 mm. Cependant, l'intérêt capital pour les concepteurs des structures sont les propriétés de BAP à l'état durci, comme la résistance à la compression, le module d'élasticité, le retrait et le fluage [DOM 07]. Une des différences les plus importantes entre le BAP et le béton ordinaire est l'incorporation des ajouts minéraux. Plusieurs travaux ont été menés pour étudier l'effet des ajouts minéraux sur les propriétés des BAP [UYS 11]. D'autres chercheurs [ZAH 12] ont montré que le développement de la résistance à la compression et à la flexion des BAP dépend de la durée de cure initiale. Une durée de cure initiale de 7 jours permet de développer rapidement des résistances mécaniques. Hans et al. [HAN 06] ont montré que le traitement thermique des BAP influence sur la taille des pores et la distribution des tailles de pores. Vinh-An Le [VIN 14] observe qu'il est possible de conserver les propriétés des BAP à la fin du malaxage lorsque la température initiale du mélange s'accroît de 20°C à 50°C. De plus, l'augmentation de la température initiale du béton de 20°C à 50°C favorise les résistances mécaniques à la compression. La maturation du béton autoplaçant est communément admise comme le paramètre responsable du bon développement des propriétés du matériau. Dans des conditions de température élevée, la pâte de ciment subit des changements physiques et chimiques susceptibles d'affecter significativement les propriétés mécaniques et la durabilité des structures en béton. De nombreuses études ont été menées afin d'éclaircir l'influence de la période

de cure initiale par temps chaud sur les différents mécanismes impliqués durant l'hydratation des bétons. Certains chercheurs [LIN 11] ont abordé dans leur analyse de l'effet de la durée de cure initiale du béton par temps chaud. Ils ont montré que les BAP conservés dans l'eau développent mieux leur résistance mécanique en comparaison avec les BAP conservés pendant 3, 7 et 14 jours dans l'eau puis conservés dans le climat chaud. Par contre, certains auteurs [ZAH 12] ont constaté que la période de cure de 7 jours dans l'eau suivie d'un durcissement dans le climat chaud permettent un meilleur développement des résistances mécaniques. A la lumière de la littérature des conclusions divergentes entre les chercheurs sur l'effet de la durée de cure de BAP et sur l'évolution de la résistance, la présente étude s'intéresse à analyser l'effet du mode et la durée de cure initiale du béton autoplaçant par temps chaud. L'objectif de notre travail est d'étudier l'effet du climat chaud sur les propriétés des BAP à l'état frais et à l'état durci.

2. Programme expérimental

2.1. Matériaux

On a adopté dans cette étude trois rapports Eau/Liant (0.32, 0.38 et 0.44) afin d'obtenir trois classes de résistance. Cinq modes de cure sont appliqués : conservation des éprouvettes dans l'eau avec une température de laboratoire, conservation des éprouvettes dans le climat chaud (CC), conservation des éprouvettes pendant 3, 7 et 14 jours dans l'eau puis dans le climat chaud. Les propriétés à l'état frais sont mesurées par : l'étalement au cône d'Abrams, le J-ring, T50, V-funnel, L-box et la stabilité au tamis. Les tests effectués sur les BAP durcis sont : la résistance à la compression à 3, 7, 28 et 90 jours, la vitesse ultrasonique à 3, 7, 28 et 90 jours. Le dosage des constituants des BAP adopté dans cette étude dérive de la méthode japonaise. La taille de granulat maximal est limitée à 14 mm. Le rapport gravier/sable (G/S) est égale environ à 1. La quantité de liant est de 527-624 kg/m³ suivant le rapport E/L. Le dosage en superplastifiant dépend de la valeur mesurée sur l'étalement du BAP à l'état frais, soit 72±3cm. Les bétons autoplaçants confectionnés dans cette étude sont à la base d'un ciment CEMII-A 42,5 qui provient de la cimenterie de Chlef (Algérie). Les propriétés chimiques et physiques du ciment et du calcaire sont présentés dans le tableau 1. Les agrégats utilisés sont un sable naturel de 0-4 mm et son équivalent de sable est égale à 70. Le gravier concassé est de classe granulaire 6/14 mm, la distribution granulométrique et les propriétés physiques des granulats sont illustrées dans la figure 1 et tableau 1. L'adjuvant employé durant notre étude est un superplastifiant avec une densité de 1,06, un teneur en ions chlorures inférieure à 0,1% et des extraits secs entre 28,0 et 31,0%. Le dosage peut varier de 0,2 à 3% selon la fluidité et les performances recherchées.

Tableau 1. Analyse chimique du ciment, du clinker et du calcaire

Analyse Chimique en (%)	Clinker (%)	Ciment (%)	Calcaire (%)
SiO ₂	22.26	19.83	2.64
CaO _{libre}	0.70	1.05	-
Al ₂ O ₃	5.25	4.60	0.61
Fe ₂ O ₃	3.39	3.14	0.72
CaO	65.67	63.82	52.06
MgO	0.85	0.98	0.48
SO ₃	-	2.00	-
PAF	-	6.73	41.89
Finesse(m ² /kg)	-	3988	-

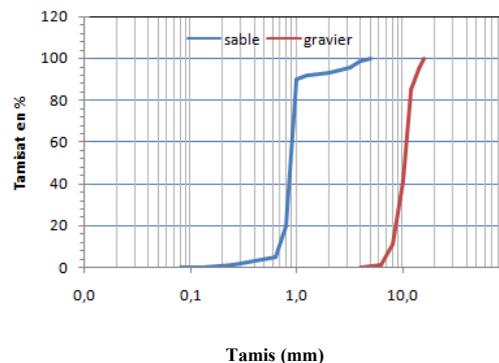


Figure 1: Courbe granulométrique du sable et gravier

2.2. Préparation des mélanges

Trois bétons autoplaçants ont été utilisés dans cette recherche, ayant les rapports E/L=0.32-0.38 et 0.44. La teneur du liant varie de 527 à 624 kg/m³ suivant le rapport E/L. La quantité totale des granulats utilisés varie de 1414 à 1427 kg/m³. La composition des BAP sont données dans le tableau 2.

Tableau 2. Composition des BAP

Matériaux (kg/m ³)	BAP32	BAP38	BAP44
E/L	0,32	0,38	0,44
Ciment	624,4	572,2	527,8
Sable 0-4	757,7	722,2	694,5
Gravier 4-16	770	700	722,2
Eau	199,8	215,7	232,2
Super plastifiant	14,2	7,8	5,0
Masse volumique	2366	2218	2182

2.3. Préparation des éprouvettes

Le contrôle de BAP à l'état frais a été effectué par des tests au cône d'Abrams, T50, J-Ring, V-Funnel, L-Box et la stabilité au tamis. Après avoir obtenu un BAP, le béton se met dans des moules cubiques 10×10×10cm³ pendant 24 heure couvert d'un plastique, et ensuite, les éprouvettes ont été retirés des moules et conservées en cinq groupe afin d'étudier l'effet du mode de cure initiale sur les propriétés des BAP. Les cinq modes de cure sont mentionnées dans le tableau 3.

3. Méthode expérimentale

3.1. Tests à l'état frais

L'essai d'étalement au cône d'Abrams des bétons autoplaçants a été réalisé selon la norme ASTM C143. L'essai j-ring est conforme à la norme ASTM C 1621. On utilise à nouveau le cône d'Abrams mais renversé. Il permet de caractériser la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocages inacceptables. Concernant l'essai L-box, cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique. Pour l'essai V-funnel, cet essai permet une évaluation qualitative du béton autoplaçant [RIL 00]. Il caractérise la capacité de passage du béton à travers un orifice. L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçut l'orifice. Le test de stabilité au tamis permet de qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation. La densité du BAP à l'état frais est déterminée selon la norme ASTM C138.

3.2. Test à l'état durci

Après la confection des éprouvettes du BAP de dimension 10×10×10cm³, les éprouvettes ont été conservées après le démoulage, dans cinq modes différents de cure jusqu'au jour de l'essai. L'essai de compression a été effectué selon la norme NF EN 206-1.



a) Essai d'étalement



b) Essai J-Ring



c) Essai L-box



d) Essai de la laitance

Figure 2. Essais du BAP à l'état frais

3.3. Essais non destructifs

Les essais non destructifs sur les éprouvettes permettent de déterminer la vitesse d'impulsion ultrasonique dans le béton. L'interprétation des résultats n'est pas toujours aisée en raison de problèmes d'étalonnage des appareils et de l'hétérogénéité du matériau.

La méthode de la vitesse d'impulsion ultrasonique a été également utilisée dans cette étude afin de déterminer l'homogénéité du béton, la présence de fissures ou de vides, les changements de propriétés dans le temps et des caractéristiques physiques et dynamiques.

Pendant les essais expérimentaux, le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le béton est enregistré et la vitesse va être calculée par l'Eq.1 [QAS 00].

$$V=L/T \quad [1]$$

Où: V: la vitesse d'impulsion (m/s);

L: la longueur du parcours (m), T: le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur (s).

4. Résultats et discussions

4.1. Propriétés des BAP à l'état frais

La qualité du béton à l'état frais a été vérifiée selon les essais recommandés par les normes ASTM : étalement au cône, essai J-Ring et l'écoulement en boîte en L, essai V-funnel, capacité de remplissage conformément au EFNARC. Les valeurs mesurées de BAP à l'état frais sont présentées dans le tableau 3. Les valeurs obtenues par les essais montrent bien que les trois compositions (BAP32, BAP38 et BAP44) sont satisfaites aux critères des BAP.

Tableau 3. Propriétés des BAP à l'état frais

Mix	Etalement		J _{Ring}		V _{funel} (s)	L _{Box} (%)	Laitance (%)	Densité (kg/m ³)
	Diamètre (cm)	T ₅₀ (s)	D (cm)	Blocage				
BAP32	75	3	72,5	Non	11	94,4	20,5	2375
BAP38	71	2,4	71	Non	7	91,6	17,4	2223
BAP44	73	1,58	71	Non	4	80	27,5	2327

4.2. L'effet de la durée de cure initiale sur les propriétés mécaniques des BAP

4.2.1. L'effet sur la résistance en compression

La variation de la résistance en compression des BAP suivant la durée de cure initiale et le mode de cure est présentée dans la figure 3. On a constaté clairement que le mode de cure joue un rôle important sur les résistances mécaniques. La résistance en compression des BAP conservées dans l'eau est supérieure à ceux conservés dans le climat chaud quelque soit l'âge et le rapport E/L. En outre, la durée de cure initiale contribue aussi au développement des résistances mécaniques. Nous constatons sur la figure 3 que la durée de cure initiale de 7 jours est bénéfique au développement de la résistance à la compression en comparaison avec celle des éprouvettes conservées dans les autres milieux. Ce résultat a été également observé par [ZAH 12] qui ont utilisés un BAP à base d'un ciment contenant de cendre volante. Nous constatons sur la figure 3.c que les BAP avec un rapport E/L=0,44 conservés dans le climat chaud présentent de faible résistance en compression quelque soit l'âge. En revanche, les BAP avec un rapport E/L=0,32 pour une durée de cure de sept jours ont des résistances mécaniques importantes. La résistance à la compression des BAP avec du rapport E/L=0,32 à 90 jours est la plus élevée. L'augmentation maximale de la résistance est de 9,3% par rapport à celles conservés à 28 jours. De façon similaire, pour les BAP avec E/L= 0,38, la résistance augmente de 16,5%. De même, la résistance en compression des BAP ayant un rapport E/L=0,44 à 90 jours est supérieure de 7,4%.

Ces phénomènes peuvent être expliqués par le fait que, dans le cas du mode de cure avec un climat chaud, l'hydratation se fait seulement par l'eau de gâchage, d'où l'importance de la dispersion efficace des grains au début, avant l'évaporation de l'eau. Par contre, dans le cas de cure humide, la présence de l'humidité importante favorise l'hydratation continue. Cependant, en dehors du mode de durcissement dans le climat chaud, les

éprouvettes conservées pendant 7 et 14 jours dans l'eau puis dans la condition de climat chaud ont des résistances à la compression à 90 jours plus élevées par rapport à celles des éprouvettes murissent complètement dans l'eau. Ceci peut être attribué à la différence d'humidité relative (HR).

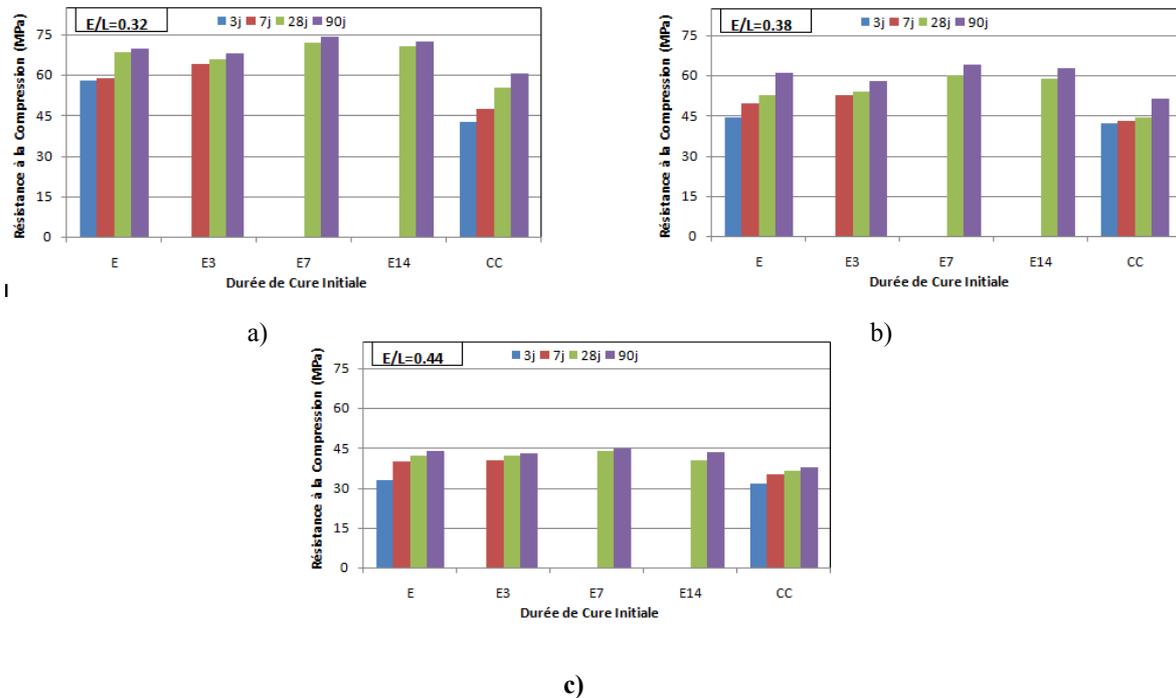


Figure 3. Effet de la durée et du mode de cure sur la résistance à la compression.

4.3. Vitesse d'impulsions ultrasoniques (UPV)

Le test d'UPV est une technique non destructive qui permet d'évaluer l'homogénéité du béton. La vitesse d'impulsion ultrasonique dans un solide dépend essentiellement des propriétés élastiques et de la densité du matériau. Les résultats obtenus par ce test sont présentés dans le tableau 5.

L'évolution moyenne d'UPV aux échéances 3, 7, 28 et 90 jours est présentée dans le tableau 5. L'UPV varie de 4,096 à 4,530 km/s à 28j, tandis que la vitesse d'impulsions ultrasoniques à 90 jours varie de 4,110 à 4,59 km/s. Ces variations correspondaient au degré de densification à l'intérieur de la structure du BAP. Les valeurs d'UPV des BAP à l'état durci dans l'eau sont supérieures à celles obtenues dans le climat chaud, quel que soit le rapport E/L. La vitesse d'impulsion la plus élevée a été atteinte pour le BAP (E7-90) avec un rapport E/L=0.32, sept jours de durée de cure initiale suivis d'un murissement dans le climat chaud. Tandis que la vitesse la plus faible à tous les âges a eu lieu pour les BAP conservés dans un climat chaud.

Tableau 5. Vitesse d'impulsions Ultrasonique des mélanges de BAP

E/L	La vitesse d'impulsion (UPV) en km / s											
	0.32				0.38				0.44			
	3j	7j	28j	90j	3j	7j	28j	90j	3j	7j	28j	90j
E	4.44	4.45	4.50	4.51	4.38	4.40	4.40	4.42	4.05	4.14	4.16	4.23
E3		4.47	4.48	4.49		4.38	4.40	4.42		4.19	4.19	4.19
E7			4.53	4.59			4.47	4.49			4.19	4.20
E14			4.52	4.55			4.52	4.55			4.14	4.15
CC	4.17	4.24	4.27	4.39	4.24	4.27	4.27	4.39	4.03	4.08	4.10	4.11

4.5. Relation entre la résistance mécanique et la vitesse ultrasonique

L'évolution dans les mesures d'UPV était similaire à celle de la résistance à la compression, UPV augmentant avec la résistance à la compression pour tous les mélanges. La relation entre la résistance à la compression et la vitesse d'impulsion ultrasonique (UPV) des BAP est décrite dans la figure 4. Les valeurs d'UPV augmentent

avec la résistance à la compression pour tous les BAP. Des résultats similaires ont été obtenus dans des études antérieures [BRE 08]. Il y a une bonne corrélation entre la résistance à la compression mesurée et la valeur obtenue par la relation entre la résistance et la vitesse d'impulsion ultrasonique pour tous les BAP avec les trois rapports E/L. Le coefficient de corrélation R^2 est égal à 0,938.

Les expressions les plus couramment utilisés concernant la relation entre la résistance à la compression et l'UPV sont:

$$R_c = a \cdot P_v + b \quad [2]$$

$$R_c = a \cdot P_v^b \quad [3]$$

$$R_c = a \cdot e^{b \cdot P_v} \quad [4]$$

R_c : la résistance à la compression (Mpa), P_v : vitesse ultrasonique (km/s), a et b sont des constantes

Les résultats obtenus en utilisant les équations 2-4 sont présentés dans le tableau 6. Nous remarquons que les valeurs des coefficients de corrélation des BAP confectionnés par un E/L=0,32 est maximale est ceci quelque soit l'équation de corrélation et en particulier les relations exponentielle et puissance. Les écarts entre les valeurs de la résistance à la compression mesurée et estimée sont minimales est ceci pour la relation de corrélation linéaire.

Tableau 6. Comparaison des relations entre la résistance à la compression et la vitesse d'impulsion ultrasonique

Equations	E/L	a	b	R^2	R_c estimée (MPa)	R_c mesurée (MPa)	ΔR_c (MPa)
$R_c = a \cdot P_v + b$ (1)	0.32	74.64	-268	0.925	63.31	63.23	-0.08
	0.38	55.09	-186	0.770	53.35	53.29	-0.06
	0.44	68.29	-242.9	0.900	39.97	39.89	-0.08
$R_c = a \cdot P_v^b$ (2)	0.32	0.013	5.651	0.929	62.92	63.23	0.31
	0.38	0.063	4.580	0.785	53.07	53.29	0.22
	0.44	0.001	7.386	0.902	39.37	39.89	0.52
$R_c = a \cdot e^{b \cdot P_v}$ (3)	0.32	0.202	1.291	0.928	59.63	63.23	3.6
	0.38	0.510	1.067	0.788	53.02	53.29	0.27
	0.44	0.024	1.786	0.900	36.36	39.89	3.53

La figure 4 présente la relation entre la résistance mécanique et la vitesse des ultrasons (UPV) pour les BAP conservés dans les cinq modes de cure. Cette figure montre que cette relation peut être modélisée par une loi exponentielle ce qui est en accord avec la littérature. Cependant, pour les BAP murissant pendant 7 ou 14 jours dans l'eau puis stockés dans le climat chaud, ils présentent une tendance d'augmentation des résistances plus forte en comparaison avec les autres modes de cure.

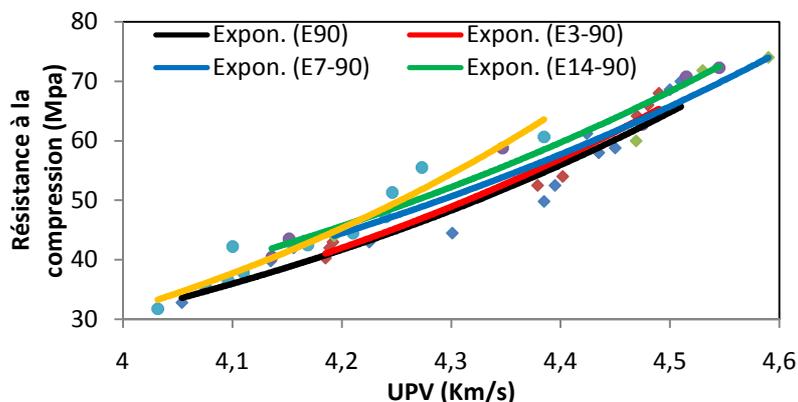


Figure 4. Relation entre la résistance à la compression et UVP en fonction de la durée de cure

5. Conclusions

Les conclusions suivantes ont été tirées à partir des résultats obtenus dans cette étude :

- La résistance à la compression est fortement influencée par le mode de cure. Sept jours de cure initiale dans l'eau suivi d'un mûrissement dans le climat chaud réel est le mode de cure optimal pour la résistance à la compression.
- Les BAP avec un rapport E/L=0,44 conservés dans le climat chaud ont une faible résistance à la compression à tous les âges.
- Il y a une bonne corrélation entre les valeurs de la résistance estimées par la vitesse ultrasonique (UPV) et les valeurs obtenues par les essais.
- Les valeurs d'UPV obtenues sur les BAP conservées dans l'eau sont plus élevées que celles obtenues dans un climat chaud.

6. References bibliographiques

- [BOU 00] Bouzoubaa. N, Lachemi. Mr. *self compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash preliminary results*. Cement and Concrete Research, 2000; 31; 413-420.
- [BRE 09] D, Breyse, M, Soutsos, R, Felicetti, M, Krause, J, Lataste, has, Moczko. *How to improve the quality of concrete assessment by combining several NDT Measurements*. Non-Destructive Testing in Civil Engineering, France, 2009, 8p.
- [BRE 12] D, Breyse. *Nondestructive Evaluation of concrete strength: Year historical review and a newperspective by combining NDT methods*. Construction and Building Materials 33 (2012) 139-163.
- [BRE 08] Breyse et al. *Methodology of qualification of the observable from the non-destructive test to diagnose the state of the concrete*. European Journal of Environmental and Civil Engineering EJECE. Volume 12 - No. 4/2008.
- [BEL 13] Belarbi Hassiba, Mellas Mekki. *Combined Methods for Determination strength of the concrete with fiber Polypropylene (The Schmidt hammer and the ultrasonic pulse velocity)*. The Official Journal of malysian society for non-destructive testing. NDT spectra after 7 November 2013.
- [CAN 03] Canan Tasdemir. *Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete*. Cement and Concrete Research 33 (2003) 1637-1642.
- [CAN 03] Canan Tasdemir. *Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete*. Cement and Concrete Research 33 (2003) 1637-1642.
- [DEM 04] Demirboga R., Türkmen I. And Karako M.B. *Relationship Between ultrasonic compressive velocity and strength for high-volume mineral admixture concrete*. Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 12, pp. 2329-2336. 2004.
- [DOM 07] Domone P.L. *A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete*. Cement & Concrete Composites 2007; 29; 1-12.
- [ENF 05] ENFRAC. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: specification, Production and Use*, 2005.
- [FER 13] Ferhat Bingöl. A, Ilhan Tohumcu. *Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self compacting concrete incorporating fly ash and silica fume*. Materials and Design, 2013; 51; 12-18.
- [GHRI 07] Mr. Ghrici, S. Kenai, Mr. Said-Mansour. *Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements*. Cement and Concrete composite, 2007; Vol. 29, pp.542-549.
- [GRITS 13] Gritsada Sua-IAM, Natt Makul. *Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate*. Construction and Building Materials, 38 (2013) 455-464.
- [HAN 06] Hans-Wolf Reinhardt, Michael Stegmaier. *Influence of heat curing on the pore structure and compressive strength of self-compacting concrete (SCC)*. Cement and Concrete Research, 2006; 36; 879-885.
- [HOCI 10] Hocine ACIS. *The influence of the type of mineral addition on the behavior physico-mechanical and on the sustainability of autoplacants concretes*. Doctoral thesis, National Institute of Applied Sciences of Rennes 2010.
- [LIN 12] Lina Rojas-Henao, Jaime Fernandez-Gomez, and Juan Carlos Lopez-Agui. *Rebound Hammer, Puulse velocity, and core tests in Self-Consolidating concrete*. Ait Materials Journal, 2012; Vol. 109, pp. 235-243.
- [LIN 11] I.H. Ling, D.C.L. Teo. *Properties of EPS RHA light weight concrete bricks sous different curing conditions*. Construction and Building Materials 25 (2011) 3648-3655.
- [LIN 03] Lin Y., ATIA P.O. box and Yen T. *Prediction of ultrasonic pulse velocity in concrete*. Ait Materials Journal, Vol. 100, No. 1, pp. 21-28. 2003.

- [QAS 00] H, Y, Qasrawi. *Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted*. Cement and Concrete Research, Flight, 30, 2000, pp, 739-746.
- [RAJ 73] Rajagopalan P.R., Prakash J. and Naramimhan v. *Correlation between ultrasonic pulse velocity and strength of concrete*. Indian ConcreteJournal, Vol. 47, No. 11, pp.416-418. 1973.
- [RIL 00] RILEM. *Self Compacting Concrete*. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-CSC. Edited by A. Skarendahl and O. Petersso, RILEM Publications, France, 2000.
- [SHE 09] ShenJ., YURTDAS I., DIAGANA C., Li, A., *mix design method of self-compacting concrete for pre-cast industry*, Canadian Journal Civil Engineering, 2009, 36(9): 1459-1469.
- [UYS 11] Uysal M, Yılmaz K. *Effect of mineral admixtures we properties of self-compacting concrete*. Cement composite concrete 2011; 33:771-776.
- [VIN 14] Vinh-An. *Behavior of autoplçant concretes by hot weather*. Phd thesis, University of Toulouse 3 Paul Sabatier, 2014.
- [ZAH 12] Zhao et al. *Effect of water initial-curing period and curing condition is the properties of self-compacting concrete*. Materials and Design 35 (2012) 194-200.
- [ZUL 08] Zulfu ç. Ulucan, Kazim Turk, and Mehmet Karatas. *Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for Self-Compacting Concrete*. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2008; Vol. 44, No.5, pp. 367-374