

## EFFET DE L'AGENT ENTRAINEUR D'AIR SUR LA RESISTANCE DES BETONS EXPOSES AUX CYCLES GEL DEGEL

M. MECHKOURI\* et A. GUETTALA

*Département de génie civil, Université de Biskra, Algérie*

\*E-mail : mechkouri1@yahoo.fr

### RÉSUMÉ

Les bétons confectionnés dans les zones exposées aux effets des climats froids et humides, comme le cas des ouvrages implantés dans des hauts plateaux en Algérie, peuvent subir des dégradations assez remarquables dues au développement des contraintes assez importantes à l'intérieur de la structure du béton dus aux effets des cycles gels dégels.

L'objectif principal de notre étude consiste à formuler une série de dosages en agents entraîneurs d'air incorporés à l'intérieur des mélanges de béton lors du malaxage dans le but de développer une formulation assurant au béton une meilleure durabilité avec le temps et de le protéger notamment aux cycles de gels répétés. Ces formulations des bétons consistent à avoir aussi un meilleur comportement rhéologique vis-à-vis de la maniabilité sans avoir une perte de résistance importante qui dépasse les normes.

Les résultats de cette étude mettent en évidence que l'incorporation de l'agent entraîneur d'air dans le béton à un effet bénéfique en particulier sur la tenue aux cycles gels dégels. Une amélioration significative sur le comportement rhéologique et mécanique du béton vis-à-vis des effets gels dégels a été remarquée.

**MOTS-CLÉS :** béton ; gel dégel ; agent entraîneur d'air ; ouvrabilité ; résistance à la compression.

### ABSTRACT

The concretes made in cold and wet climates zones, as the case works located in the highlands in Algeria, may suffer damage caused quite remarkable development constraint large enough within the structure of concrete due to the effects of cycles of freeze defreeze.

The main objective of our study is to develop a set of dosages of air entraining admixture within the concrete mixtures when mixing with the purpose of developing a formulation to ensure concrete durability better with time and protect including repeated cycles of freeze defreeze. These formulations are to have a better rheological behaviour vis-à-vis the workability without a significant loss of strength that exceeds the standards.

The results of this study highlight that the inclusion of air-entraining agent in concrete to a beneficial effect, particularly on the resistance to freeze defreeze cycles. A significant improvement on the rheological and mechanical behavior of concrete against the effects of freeze defreeze was observed.

**KEYWORDS:** Concrete; freeze defreeze; air entraining admixture; workability; compressive strength

## 1. INTRODUCTION

La durabilité au gel est très importante dans le cas des structures en béton exposées à la basse température, car le béton est un matériau poreux qui contient de l'eau sous diverses formes. Une partie de cette eau peut geler lorsque la température descend sous le point de congélation ; on l'appelle «eau gelable». Il existe plusieurs théories différentes qui décrivent ce phénomène et tentent d'expliquer ses effets sur la matrice cimentaire qui supposent toutes que le gel provoque un mouvement d'eau qui génère des contraintes internes. Si ces contraintes dépassent la résistance en traction du béton, il y a rupture et formation d'une fissure. C'est pourquoi il est important d'avoir un réseau de bulles d'air compact et homogène pour permettre une dissipation rapide des pressions causées par le gel. [1].

Pour protéger le béton contre le gel, on doit prendre en considération la teneur en air et le facteur d'espacement, car il est possible de produire un béton avec une teneur en air respectant les spécifications, mais dont le facteur d'espacement ne serait pas suffisant pour assurer la protection du béton contre le gel [2].

La détérioration n'apparaîtrait pas dans le béton après une seule période de gel, mais elle serait le résultat d'un endommagement progressif dû à la succession d'un nombre plus ou moins grand de cycles de gel-dégel [3].

L'utilisation des adjuvants entraîneurs d'air facilitent la mise en place des bétons et les protègent du gel [4]. Mais cette utilisation est efficace dans la mesure où les bulles qui sont ajoutées améliorent le réseau de bulles d'air. Ceci ne semble possible que si la dose d'AEA ajoutée est assez importante [5], si non on risque de n'entraîner que 1% à 2% d'air, ce qui n'est pas assez pour garantir une amélioration du réseau. Cette augmentation pourrait tout aussi bien provenir de la fluidification du mélange par l'ajout d'eau avec l'AEA. Généralement cette fluidification entraîne surtout des grosses bulles qui sont susceptibles d'être perdues par la suite [6]. De même des études récentes dans le domaine comme celle de Nicola Pitrov [7], ont remarqués que l'absence de l'AEA dans le béton exposé aux effets gels dégels cause une diminution assez remarquable de la résistance à la compression et le module d'élasticité.

Donc notre objectif principal dans cette étude consiste à formuler une série de dosages en agents entraîneurs d'air incorporés à l'intérieur des mélanges de béton lors du malaxage dans le but de développer une formulation assurant au béton une meilleure durabilité avec le temps et de le protéger notamment aux cycles de gels répétés. Ces formulations des bétons consistent à avoir aussi un meilleur comportement rhéologique vis-à-vis de la maniabilité sans avoir une perte de résistance importante qui dépasse les normes.

## 2. PROGRAMME EXPERIMENTAL

### 2.1. Caractéristiques des matériaux utilisés

#### 2.1.1. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est fabriqué au niveau de la cimenterie de Ain Touta. Il s'agit ici du ciment portland composé CPJ-CEM-II / A 42.5, dont la composition et les propriétés sont présentées aux tableaux 1 et 2.

**Tableau 1 : Composition chimique du ciment**

Composition chimique (%) : © (CPJ-CEM II/A 42.5)												
Type de ciment	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CL	PAF	RI
©	20.34	5.37	3.00	61.69	1,80	2.20	0.027	0.76	0.14	0.97	5.03	1,12

- PAF : Perte au feu.

- CL : Chaux libre.

- RI : Résidus insoluble

**Tableau 2 : Propriétés physiques du ciment**

Essais	Finesse cm <sup>2</sup> /g	Consistance normale (%)	Début de prise (heure : min)	Fin de prise (heure : min)
Résultats	3371	26	2 :45	3 :50

### 2.1.2. Le sable

Le sable utilisé dans tous les mélanges du béton est un sable naturel (0/5) provenant de Lioua (wilaya de Biskra) avec comme caractéristiques celles qui sont présentées au Tableau 3.

**Tableau 3: Caractéristiques physiques du sable**

Nomination	Masse volumique Apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique Absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Equivalent de sable (%)
Sable naturel (0/5)	1.60	2.54	68

### 2.1.3. Le gravier

un gravier concassé provenant de la carrière de Ain-Touta.

Le gravier utilisé est un gravier concassé (5/20) provenant de la région de Ain Touta (wilaya de Batna), avec comme caractéristiques celles qui sont présentées au tableau 4.

Nomination	Masse volumique Apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique Absolue (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficient de Los Angeles	Impureté (%)	Coefficient d'absorption d'eau (%)
Gravier (0/20)	2.65	1.40	23	2.22	1.20

### 2.1.4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est celle distribuée par le réseau du service public de la ville de Biskra, dont les caractéristiques sont conformes à la norme EN 1008.

### 2.1.5. L'agent entraîneur d'air (AEA)

L'agent entraîneur d'air utilisé est le MEDA - AIR de la société GRANITEX Oued Smar. (Wilaya d'Alger).

### 2.1.6. Superplastifiant

Lors de cette étude nous avons utilisé l'adjuvant provenant de GRANITEX Oued Smar. (Wilaya d'Alger) .il s'agit d'un superplastifiant nommé **MEDAFLOW 30**, il est conforme aux exigences des normes NFP 18333 et NFP 18336. Ce produit est un réducteur d'eau. Il est compatible avec tous les types de ciments.

### 2.1.7. Fumée de silice

La fumée de silice utilisée est MEDA PLAST HP commercialisée par Granitex d'Oued Smar (Wilaya d'Alger), dont les caractéristiques chimiques sont présentées dans le tableau 5 .

**Tableau 5 : Composition chimique de la fumée de silice**

Type	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P.A.F
Silicium (grise)	93.7	0.6	0.2	0.3	0.2	0.2	0.5	2.9

## 2.2. Procédure expérimentale

### 2.2.1. La composition du béton

Notons que le calcul de la composition du béton a été fait par la méthode des « volumes absolus » élaborée par le professeur **B.Scramtaïv** [8].

Les tableaux 6, 7 et 8 présentent la formulation complète des 03 mélanges de béton pour des dosages de ciment respectifs de 330, 360 et 400 kg /m<sup>3</sup> et pour E/C = 0.6 ,0.5 et 0.4 et avec des dosages en AEA déterminés par rapport au poids du ciment.

**Tableau 6 : Composition des mélanges de béton pour E/C = 0.6  
avec un dosage de ciment C=330 kg/m<sup>3</sup>**

Dosage en AEA (%)	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	gravier (g/m <sup>3</sup> )	Sable (g/m <sup>3</sup> )
0.01	330	198	1209	622
0.05				
0.075				
0.10				
0.15				

**Tableau 7 : Composition des mélanges de béton pour E/C = 0.5  
avec un dosage de ciment C=360 kg/m<sup>3</sup>**

Dosage en AEA (%)	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	gravier (g/m <sup>3</sup> )	Sable (g/m <sup>3</sup> )
0.01	360	180	1190	663
0.05				
0.075				
0.10				
0.15				

**Tableau 8 : Composition des mélanges de béton pour E/C = 0.4  
avec un dosage de ciment C=400 kg/m<sup>3</sup>**

Dosage en AEA (%)	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Eau (l/m <sup>3</sup> )	gravier (g/m <sup>3</sup> )	Sable (g/m <sup>3</sup> )
0.01	400	160	1162	708
0.05				
0.075				
0.10				
0.15				

Pour étudier l'effet de l'introduction du superplastifiant dans un béton préparé avec des dosages différents en AEA, on a utilisé les dosages présentés dans le tableau :

**Tableau 9 : Dosages en AEA et superplastifiant étudiés**

Dosage en AEA	Teneur en superplastifiant (%)		
	0.06	0.6	0.8
0.1			

### 2.2.2. Confection et cure des éprouvettes

Des moules cubiques (10x10x10) cm<sup>3</sup> ont été réalisés pour les essais de compression et des cylindres (16x32) cm<sup>2</sup> pour l'essai de perméabilité. La confection des éprouvettes est faite conformément aux normes NF P 18-404 et 405 (déc. 1981). La conservation des éprouvettes couvertes par du plastique a été à l'air libre au laboratoire du département de génie civil de l'université de Biskra (T = 18 ± 2 °C et HR = 70 ± 2 %) pendant 24h ensuite, après démoulage sont conservées dans l'eau à 20°C.

### 2.2.3. Essais sur matériaux

#### 2.2.3.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité a été mesurée par le Slump-test en utilisant le cône d'Abrams conformément à la norme NF P 18-451, ce qui permet de faire une liaison entre le dosage d'AEA et la maniabilité.

#### 2.2.3.2. Essai de la résistance à la compression

Cet essai a été effectué sur une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et cela conformément à la norme NF P 18- 406. Pour les différents mélanges de béton, trois cubes de (10x10x10) cm<sup>3</sup> par échéance ont été utilisés pour effectuer l'essai, soit après 28 jours de cure.

#### 2.2.3.3. Essai de perméabilité

Dans ces essais, tels qu'ils sont utilisés, le débit de l'écoulement en régime permanent dû à une différence de pression est mesuré et le coefficient de perméabilité  $K_p$  est calculé à partir de l'équation de darcy.

L'essai réalisé dans le cadre de ce travail est appliqué sur des éprouvettes cylindriques (16 x16) cm<sup>2</sup> qui sont soumises à une pression dynamique d'eau C.

#### 2.2.3.4. Essai gel dégel

Cet essai a été effectué conformément à la norme NF P 18- 425 qui consiste à faire exposer les éprouvettes aux cycles gel dégel définis comme suit ; conservation des éprouvettes pendant 48 h à une température de -18±2 et ensuite émersion dans l'eau durant une période de temps de 6heures à une température de 20°C.

Afin d'évaluer l'effet bénéfique de la présence de l'agent entraîneur d'air dans les bétons étudiés, on a jugé important d'effectuer l'essai à la compression et la mesure de la densité après chaque 28 jours pendant toute la période du test.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1. Optimisation du dosage d'entraîneur d'air

Les résultats de l'optimisation du dosage d'entraîneur d'air dans le béton sont représentés sur les figures 1, 2 et 3. On constate d'une façon générale une chute de résistance à la compression en fonction du dosage de l'agent entraîneur d'air pour les différentes valeurs de E/C. Cette diminution de résistance s'évolue dans le même sens que le rapport E/C.

On note qu'au-delà du dosage 0.0785% de l'agent entraîneur d'air, on remarque une chute de résistance importante qui dépasse le taux de 25% et pour cette raison, on a adopté la valeur de 0.08% comme un dosage optimal pour notre étude.

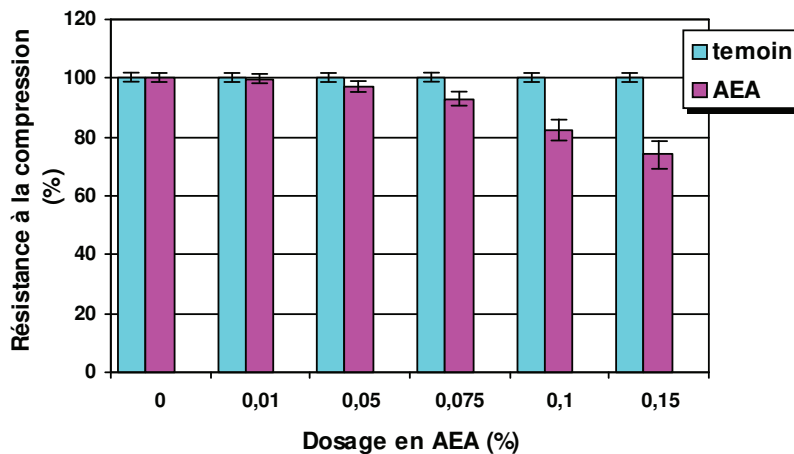


Figure 1 : Influence du dosage de l'AEA sur la résistance à la compression à l'âge de 28 jours pour E/C= 0.4

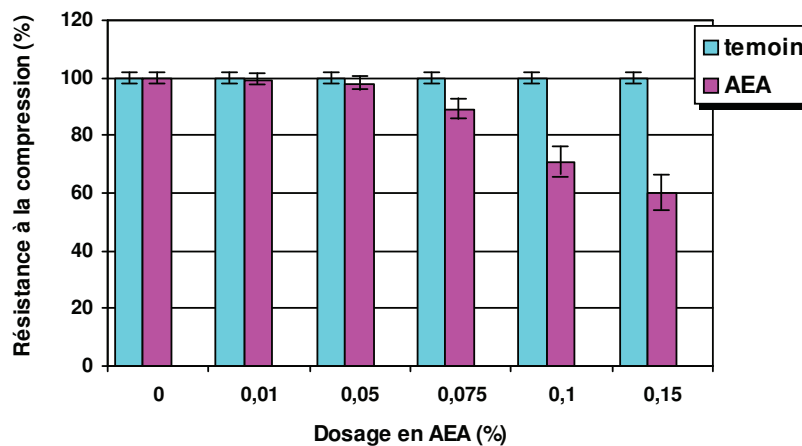


Figure 2 : influence du dosage de l'AEA sur la résistance à la compression à l'âge de 28 jours pour E/C= 0.5

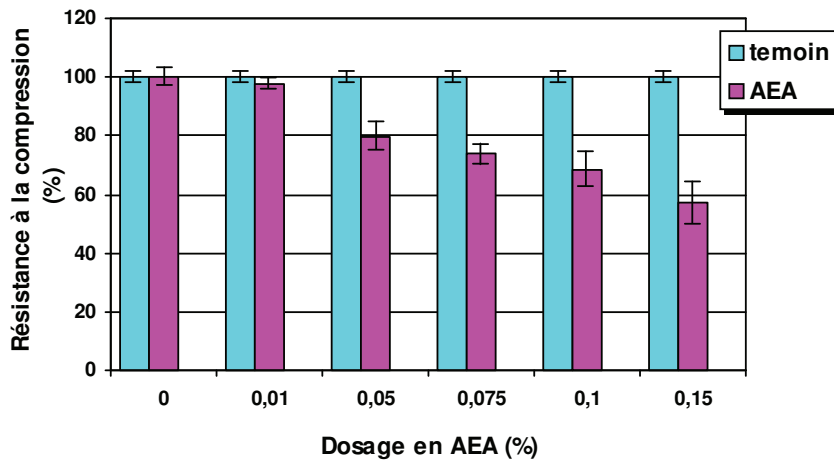


Figure 3 : Influence du dosage de l'AEA sur la résistance à la compression à l'âge de 28 jours pour E/C= 0.6

### 3.2. Etude de la durabilité des bétons avec AEA

#### 3.2.1. Perméabilité

La figure 4 montre bien que les bétons à base d'agent entraîneur d'air présentent un coefficient de perméabilité légèrement élevé, relativement aux bétons conventionnels surtout pour les bétons surdosés en AEA.

Etant donné que la perméabilité est liée à la nature du réseau poreux de la pâte de ciment hydraté durci, ce qui a un effet néfaste pour les bétons surdosés en AEA, alors que cette propriété n'affecte pas les bétons à dosage modéré ce ci peut s'expliquer par la faible dimension des bulles d'air d'où la non continuité des pores.

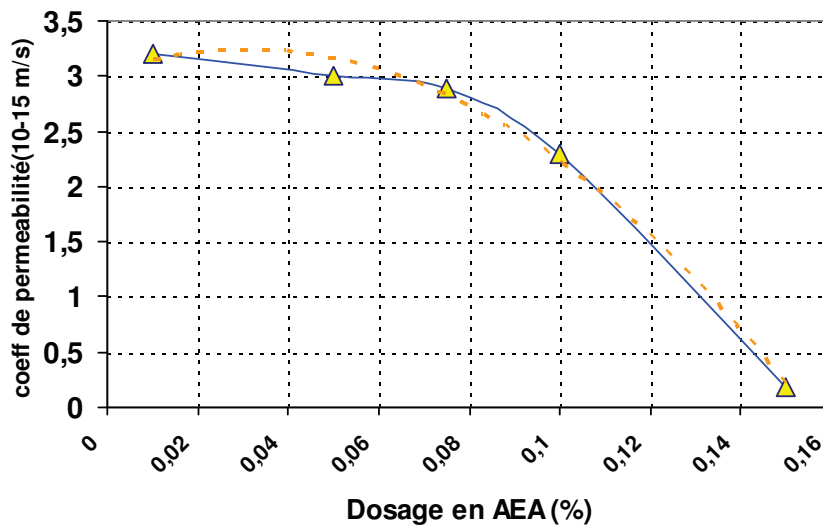


Figure 4 : L'effet du dosage des AEA sur le coefficient de perméabilité des différents types de bétons à base d'AEA

### 3.2.2. Gel dégel

Les figures 5 et 6 présentent successivement l'évolution de la résistance à la compression et de la densité des bétons à base d'un AEA exposés aux cycles de gel dégel.

A travers les résultats de la figure 5, on peut conclure que les bétons confectionnés à base d'un agent entraîneur d'air présentent des résistances qui s'évaluent légèrement et qui tendent vers des valeurs stables, alors que pour les bétons ordinaires sans AEA on constate une chute de résistance qui dépend du nombre de cycles. Cette réduction de résistance devient assez importante lorsque les bétons sont exposés à des cycles sévères de gel dégel, ce qui est en concordance avec les résultats de Nicola Pitrov [7].

On constate aussi d'après les résultats de la figure 6 une faible diminution de la densité pour les bétons à base d'un AEA exposés aux cycles de gel dégel, alors que pour les bétons sans AEA une chute considérable de la densité a été observée.

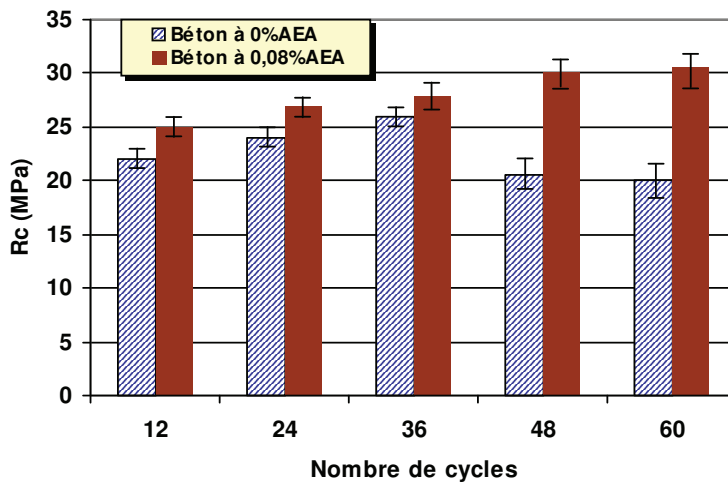


Figure 5 : Evolution de la résistance des bétons à base d'un AEA exposés aux cycles de gel dégel.

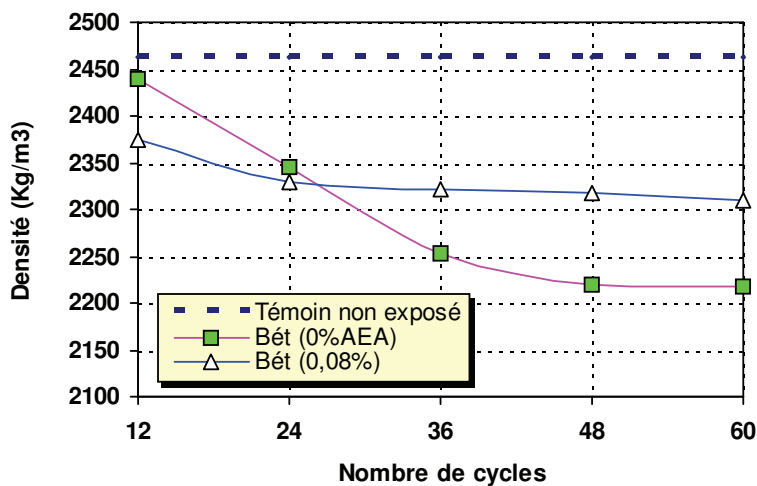


Figure 6 : Evolution de la densité des bétons à base d'un AEA exposé aux cycles gel dégel



### 3.3. L'effet du dosage des AEA sur la maniabilité

Les résultats de la figure 7 montrent une légère amélioration de la maniabilité des mélanges en augmentant le dosage en AEA. Cela explique que l'agent entraîneur d'air affecte directement la viscosité de la pâte des mélanges, ce qui facilite la mise en place des bétons. Ce résultat confirme la constatation de Forth [4]. .

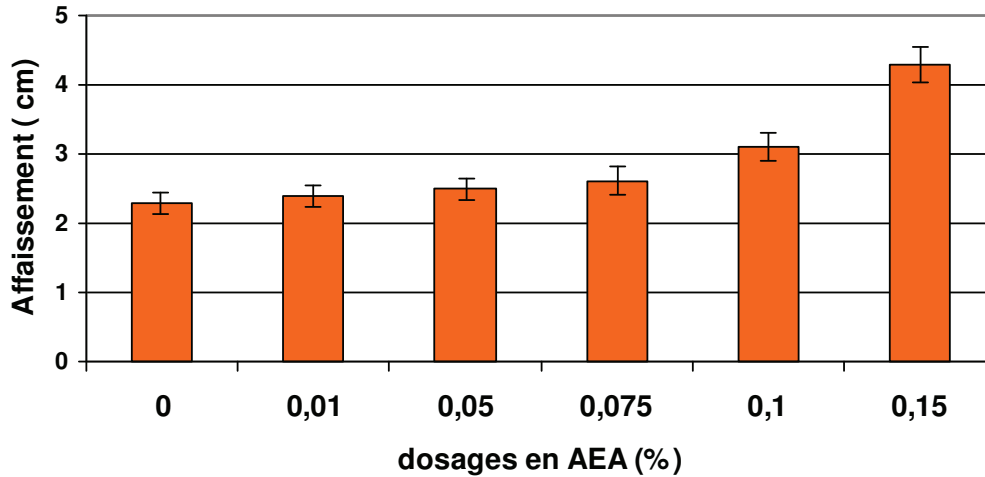


Figure 7 : L'effet du dosage des AEA sur la maniabilité

## 4. CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence l'influence de l'agent entraîneur d'air sur les propriétés physico mécaniques des bétons et évidemment sur la tenue aux cycles de gel dégel. Cet effet bénéfique au point de vue durabilité devient particulièrement sensible à partir d'un taux de dosage optimal de l'agent entraîneur d'air jugé à 0.08% pour notre cas d'étude. Ainsi, les paramètres pris en étude à travers les essais effectués et à partir des résultats obtenus montrent une nette amélioration de la maniabilité allant jusqu'à 13% et une évolution normale de la résistance à la compression pour un béton à base de l'AEA pouvant atteindre un taux d'augmentation de 22 % alors que pour un béton témoin sans AEA une chute de résistance à la compression de 10% a été remarquée après 60 cycles de gels dégels . Ces résultats nous laissent conclure qu'on peut formuler des bétons à base des agents entraîneurs d'airs satisfaisants aux différentes expositions et que l'emploi d'un agent entraîneur d'air présente les avantages supplémentaires d'une meilleure ouvrabilité, une diminution de l'eau de gâchage et du ressuage et une résistance souvent améliorée.

**REFERENCES**

- [1] PLEAU R. ; « *La caractérisation du réseau de bulles d'air dans le béton durci comme outil d'évaluation de la durabilité au gel du béton* » ; *Thèse de doctorat*, Université de Laval, 338 p, (1992).
- [2] SAUCIER F.; PIGEON M. et CAMERON G. ; « *Air-void Stability* », Part V, General Analysis and performance Index. *ACI Materials Journal*, **Vol. 88**, No.1, pp 25-36 (Jan.-Feb. 1991).
- [3] CARLES-GIBERGUES A. et PIGEON M. ; « *La Durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse* » ; BRAN J ET OLLIVIER J.P ; PARIS : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp 57-99, (1992).
- [4] J. FORTH EDF France ; « *Résistance des bétons des barrages au gel dégel* » (2003).
- [5] PIGEON M., SAUCIER F. et PLANTE P. ; « *Air-void stability* ». Part Iv: Retempering, *ACI Matériels Journal*, pp 252-259, (May/June 1990).
- [6] PIGEON M., SAUCIER F. et PLANTE P. ; « *Production et stabilité du réseau de bulles d'air entraîné dans le béton* ». Rapport soumis au Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie et à la Compagnie VERREAULT-FRONTENAC, (Avril 1987).
- [7] NIKOLA PETROV ; *thèse de doctorat* « *effets combinés de différents facteurs sur l'expansion des bétons causée par la formation différée de l'ettringite* » Sherbrooke (Québec), pp 55-57, Canada (Avril 2003).
- [8] KOMAR A. ; « *Matériaux et éléments de construction* », Version française ; Editions Mir. Moscou, 540, (1978).