

# EFFETS D'UN AGENT RÉDUCTEUR DE RETRAIT SUR LA MICROSTRUCTURE ET LES DÉFORMATIONS LIBRES DES BÉTONS

**Mlle Jacqueline SALIBA, Dr. Emmanuel ROZIÈRE, Dr. Frédéric GRONDIN,  
Prof. Ahmed LOUKILI**

Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR-CNRS 6183,  
Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noë, BP 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France

## 1. INTRODUCTION

Dès les premières heures, les matériaux cimentaires développent de grandes variations volumiques d'origine physico-chimique (contraction Le Chatelier et autodessiccation), thermique (exothermie de l'hydratation) et hydriques (séchage).

Le retrait des matériaux cimentaires se fait en deux étapes : au jeune âge (avant 24h) pendant laquelle le béton passe d'un état fluide à un état solide, d'où la dénomination de retrait plastique (Radocea, 1994 ; Turcry, 2004), et à long terme (Rozière, 2007).

Le retrait plastique est dû à l'évaporation de l'eau via les surfaces libres du béton. Ceci engendre une dépression dans les pores et par suite des contraintes internes de traction sur la phase solide provoquant une contraction du matériau. Ce phénomène est à l'origine d'une localisation de contraintes et peut augmenter le risque de fissuration au jeune âge si les déformations sont générées. Plusieurs facteurs affectent le retrait comme les constituants du béton ou sa composition agissant en particulier sur le taux d'évaporation, qui elle-même est fonction des conditions climatiques comme l'humidité relative, la température, la vitesse du vent à la surface (Uno, 1998).

Afin de prévenir la dessiccation du béton frais, l'application d'un produit de cure est une mesure bien connue où il s'agit de protéger le béton en évitant l'évaporation excessive de l'eau en surface. Parmi les procédés de cure, il existe les méthodes directes, c'est-à-dire l'ajout de l'eau ou d'un élément absorbant à la surface (Jensen, 2006) (plastique, coffrage, produit de cure liquide). Ces méthodes ne sont pas toujours efficaces et demandent un temps de mise en œuvre supplémentaire. Les recherches se sont orientées ces dernières années vers le développement d'adjuvants dits « compensateurs » ou « réducteurs » de retrait qui s'ajoutent au béton pendant sa fabrication (Weiss, 2008).

Dans le présent travail, plusieurs essais ont été réalisés pour étudier l'effet d'un agent compensateur de retrait en condition endogène et de séchage sur un béton auto-plaçant (BAP) et un béton de composition similaire mais avec un rapport eau sur ciment (E/C) plus faible. Son influence sur le retrait au jeune âge est aussi évaluée avec des mesures du taux d'évaporation, du temps de prise, de la température et de la dépression capillaire. Ensuite le retrait du béton durci, sa résistance à la compression et à la traction, son module d'élasticité et l'évolution du réseau poreux seront présentés et analysés.

## 2. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

### 2.1 Bétons étudiés

L'étude porte sur deux formulations de béton avec deux rapports E/C : 0,65 et 0,43. Pour chacune d'elles on ajoute 1 % d'agent réducteur de retrait (SRA) tout en conservant tous les autres paramètres constants. Le tableau 1 rassemble les compositions et les proportions des différentes formulations. Les principaux constituants de ces bétons sont des granulats du Boulonnais (G), du sable marin (S), du ciment CEM I 52,5 de La Couronne (C) et des fillers calcaires MEAC Betocarb (A). Un superplastifiant (Sp) est ajouté pour obtenir une meilleure fluidité et la caractére autoplaçant. Le rapport gravier sur sable (G/S) est égal à 1,02.

Les mesures d'étalement et les résistances à la compression sont présentées dans le tableau 2.

### 2.2 Dispositifs et conditions expérimentales

Les essais sont réalisés dans une salle climatisée à une température de 20°C et à 50 % d'humidité relative. Les mesures de retrait plastique sont effectuées de façon automatique toutes les 10 minutes pendant 24 heures. Les échantillons sont soumis à deux conditions différentes :

**Condition endogène :** la surface libre de l'échantillon est recouverte, tout au long de l'essai, d'un film de polyane pour empêcher tout échange d'humidité avec l'extérieur. Le taux d'évaporation reste alors nul, et le retrait plastique mesuré est le retrait endogène.

**Condition de séchage modéré :** dans ce cas la surface libre de l'échantillon est en contact avec l'air. Le taux d'évaporation est alors non nul, et le retrait mesuré est la somme du retrait endogène et du retrait de séchage.

Le dispositif mis en place pour mesurer le retrait plastique est basé sur une méthode linéique. Il est constitué d'un moule prismatique en acier de dimension 7x7x28cm<sup>3</sup> (Turcrys, 2006). Deux capteurs laser mesurent le déplacement des sections aux extrémités des échantillons prismatiques qui se rétractent lors du retrait plastique. La température est mesurée à l'aide d'un thermocouple.

Le retrait de séchage est principalement dû au mécanisme de variation de la dépression capillaire et de la tension superficielle (Slowik, 2008). Par suite la dépression capillaire a été mesurée à l'aide du dispositif proposé par Radocea (1992). Un capteur de pression est relié par un tuyau à une céramique poreuse d'une porosité équivalente à celle de la pâte de ciment dans le béton placé à mi-hauteur dans un moule cylindrique placée à mi-hauteur d'un moule cylindrique de 10cm de diamètre et de 7cm de hauteur. L'eau évacuée par la céramique crée une dépression dans le tuyau équivalente à celle créée par la dessiccation. Le suivi de la perte de masse du matériau cimentaire est réalisé en parallèle sur un échantillon cylindrique Ø11x8cm<sup>3</sup>. Les temps de début et de fin de prise du béton ont été aussi déterminés à l'aide d'un prisomètre automatique. Les échantillons sont placés dans un bac d'eau régulée en température à 20°C afin d'éviter le séchage des mortiers et d'assurer une température constante lors de l'essai.

Pour les essais de retrait sur béton durci, des éprouvettes 7x7x28cm<sup>3</sup> équipées de plots métalliques à chaque extrémité ont été confectionnées. Elles ont tout d'abord été maintenues dans les moules à une température de 20°C et à 100 % d'humidité relative. Puis à 24 heures, après démouillage, les éprouvettes sont placées dans la salle climatisée à 20°C et 50 % d'humidité relative. Pour la mesure du retrait total, les extrémités de l'éprouvette sont recouvertes d'une feuille adhésive en aluminium pour ne considérer que le séchage sur les quatre faces latérales. Pour la mesure du retrait endogène, l'éprouvette est isolée de l'humidité ambiante par une couche d'aluminium adhésif. La déformation longitudinale due au retrait est mesurée par un

	B43	BA43	B65	BA65
G (4/12), kg/m <sup>3</sup>	836	833	836	833
S (0/4), kg/m <sup>3</sup>	824	821	824	821
C, kg/m <sup>3</sup>	383	383	283	283
A, kg/m <sup>3</sup>	163	163	192	192
E, Kg/m <sup>3</sup>	165	165	185	185
Sp, Kg/m <sup>3</sup>	13,7	13,7	3,5	3,5
SRA, Kg/m <sup>3</sup>	0	5,5	0	4,8
E/C	0,43	0,43	0,65	0,65
E/(C+A)	0,3	0,3	0,39	0,39
Sp/(C+A), %	1,77	1,78	0,79	0,74
SRA/(C+A), %	0	1	0	1

Tableau 1. Formules des bétons testés.

	B43	BA43	B65	BA65
Etalement, mm	—	—	650	680
Rc7j, MPa	62,12	57	34,7	32,4
Rc28j, MPa	70	63,75	40,15	38,45
Rc90j, MPa	75,5	65,25	44,1	42,25

Tableau 2. Mesures d'étalement et résistances à la compression.

capteur LVDT, qui permet le suivi de sa longueur. La perte de masse a été simultanément mesurée sur des éprouvettes similaires dans les mêmes conditions.

Des essais de porosimétrie au mercure ont été effectués pour chaque formulation avec et sans agent à 54 jours. Les mesures des propriétés mécaniques ont été réalisées sur des éprouvettes cylindriques  $\varnothing 11 \times 22 \text{ cm}^3$  (à 1, 7, 28 et 90 jours) conservées à  $20^\circ\text{C}$  et 100 % d'humidité relative. Le module d'Young est mesuré sur ces mêmes éprouvettes en utilisant une méthode non destructive au moyen du *Grindosonic*.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Analyse croisée au jeune âge

Les résultats des mesures de retrait plastiques des bétons avec et sans SRA sont présentés sur la figure 1. Pour  $E/C=0,65$ , l'ajout de SRA n'influence pas le retrait plastique. Par contre une différence de  $300\mu\text{m}/\text{m}$  est obtenu pour  $E/C=0,43$ .

Pendant les premières minutes aucun retrait horizontal n'est mesuré, puis la contraction horizontale du béton présente une forte croissance entre 0,5 heures et 8 heures, où elle atteint sa valeur limite :  $1305\mu\text{m}/\text{m}$  ( $\pm 15\%$ ) pour B65,  $1280\mu\text{m}/\text{m}$  ( $\pm 15\%$ ) pour BA65,  $1520\mu\text{m}/\text{m}$  pour B43 et  $1223\mu\text{m}/\text{m}$  pour BA43. La vitesse de déformation est maximale à environ 4,5 heures, de l'ordre de  $305\mu\text{m}/\text{m/h}$  pour B65,  $280\mu\text{m}/\text{m/h}$  pour BA65,  $307\mu\text{m}/\text{m/h}$  pour B43 et  $266\mu\text{m}/\text{m/h}$  pour BA43. Ainsi, quatre phases peuvent se dégager.

**Phase n° 1 :** durant cette période, aucun retrait horizontal n'est observé. En effet, pendant cette phase la variation de volume est surtout due au tassement du béton sous l'effet de la gravité et du retrait endogène. Cette consolidation conduit à la solidification du béton et une petite couche d'eau de ressuage peut se former à la surface.

**Phase n° 2 :** Du fait d'un faible taux de ressuage, l'évaporation de l'eau des pores en surface débute rapidement et il s'y forme des ménisques d'eau à peu près immédiatement. La pression d'eau diminue et la déformation horizontale apparaît très rapidement. En effet cette dépression capillaire génère des contraintes de traction dans les pores de fluide et la contraction volumique est transmise horizontalement petit à petit. D'après Radocea la transmission horizontale est possible car en plus de la dépression capillaire qui se développe au sein du béton, il y a apparition d'un frottement interne du squelette granulaire. Les interactions intergranulaires sont favorisées par la consolidation et l'augmentation du volume de solide par hydratation ainsi que la diminution du volume d'eau par évaporation. La figure 2 représente la perte de masse normalisée des formulations avec et sans SRA. Durant cette phase on peut observer que l'effet de SRA sur la perte de masse est négligeable. Par suite le changement du taux de déformation est dû surtout au changement de la microstructure du béton. En effet les formulations contenant SRA ont présenté une

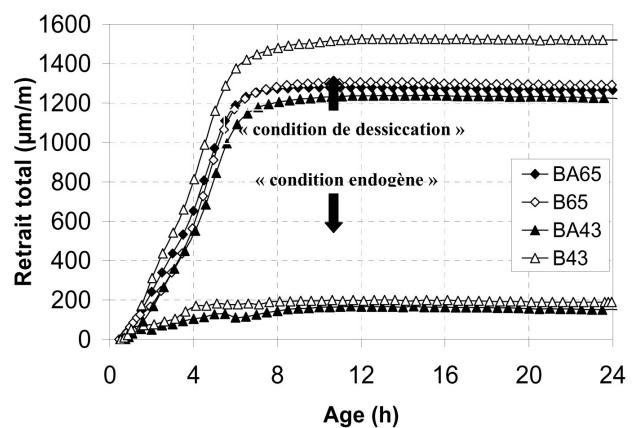


Figure 1. Développement du retrait plastique en fonction du temps pour les formulations avec et sans SRA.

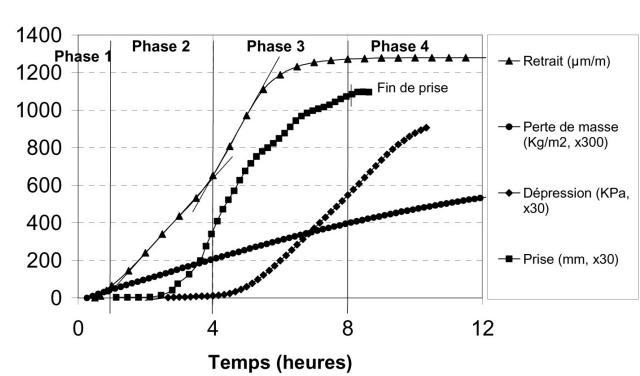
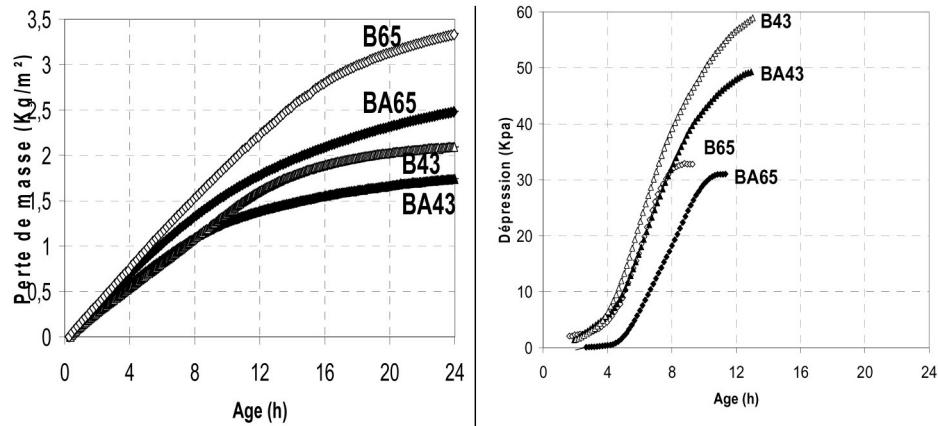


Figure 2. Corrélation entre le retrait plastique, la dépression capillaire, la prise et la perte de masse pour BA65.

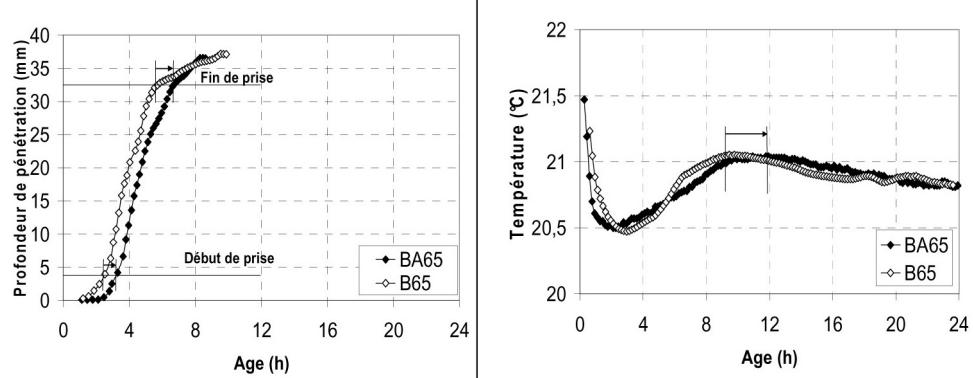
plus grande fluidité avec un retard de temps de prise (figure 3) et par suite une diminution de l'angle de frottement qui peut expliquer le retrait plus faible avec les formulations contenant SRA. A noter que les formulations étant encore fluide une faible dépression capillaire (figure 2) peut provoquer du retrait et par suite un déplacement direct de particules. Durant cette phase, les ménisques d'eau restent à la surface des bétons et il n'y a pas encore de pores vides à l'intérieur du béton.

**Phase n° 3 :** Cette période présente un ralentissement progressif du retrait plastique. Chimiquement, il s'agit en partie d'un enchevêtrement de plus en plus important des particules d'ettringite bloquante produites par l'hydratation du ciment. On se trouve probablement encore dans la période d'accélération de l'hydratation, où les réactions d'hydratation sont régies d'une part par des phénomènes alternés de migration et de précipitation des ions, et d'autre part par diffusion de l'eau entre les pores.

Le retrait du béton est généré par la prise de rigidité du squelette solide (Radocea 1994). Comme l'évaporation continue, la compressibilité et la perméabilité sont diminuées et le gradient de pression augmente. A partir de 4h, le développement de la dépression capillaire prend une forme exponentielle et on peut observer que les formulations contenant le SRA présentent une dépression capillaire plus faible et par conséquent un taux d'évaporation inférieur. En effet plus la dépression capillaire augmente, plus le fluide sera forcé à sortir du réseau poreux et sera soumis à



**Figure 3. Influence du rapport E/C et de l'addition de SRA sur la perte de masse en condition de séchage modéré en corrélation avec le développement de la pression à une profondeur de 35mm du béton.**



**Figure 4. Mesure du temps de début et de fin de prise en corrélation avec le développement de la température pour les B65 et BA65.**

l'évaporation (Lura, 2007). De plus, le taux d'évaporation est relié au phénomène de ressuage, qui dépend en même temps du réseau poreux. Les formulations contenant le SRA présentant une meilleure distribution des pores, le taux supérieur de perte de masse pour les deux formulations de base peut être expliqué par des pores plus larges. Ces observations concernant le taux d'évaporation et la dépression capillaire expliquent un taux de retrait plus petit. À la fin de cette période, le retrait horizontal est de plus en plus gêné car le squelette solide a déjà atteint une certaine rigidité et la dépression capillaire n'est plus capable de comprimer le squelette solide et d'obliger l'eau à sortir.

Les mesures de l'évolution de température pour les deux formulations avec et sans SRA (figure 4) montrent qu'elle commence à augmenter graduellement dans le béton approximativement à 4h pendant le pic d'hydratation avec un certain retard pour les formulations contenant le SRA. Ainsi on peut trouver une bonne corrélation entre l'âge auquel le dégagement de chaleur est maximal et la fin de prise. Ensuite la température diminue de nouveau pour atteindre la température ambiante. De plus, on peut remarquer que les variations de température sont peu importantes de l'ordre de 1°C. Par conséquent, le retrait dû au gradient de température est supposé négligeable.

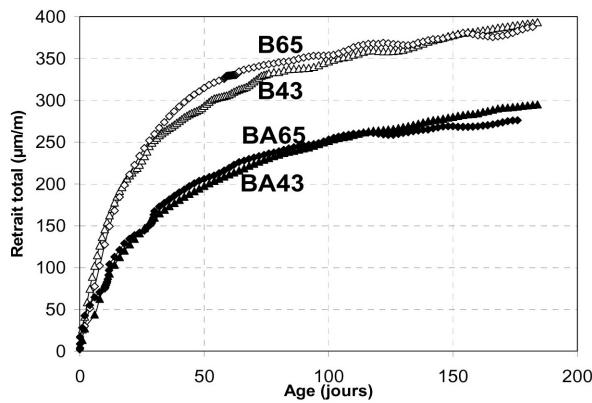
**Phase n° 4 :** Au cours de cette phase la contraction volumique s'arrête : la courbe de retrait forme un palier. En effet les rayons principaux des ménisques d'eau deviennent très petits pour relier les espaces entre les particules à la surface et l'air pénètre dans le système poreux à partir des pores les plus larges. Une redistribution de l'eau dans le système aura lieu et les pores ne sont plus complètement remplis d'eau.

Des essais de retrait en condition endogène sont aussi effectués pour les deux formulations pour une meilleure compréhension de l'effet de l'agent anti-retrait. Sur la figure 1, on observe approximativement le même taux de retrait avec et sans SRA pour  $E/C=0,65$  ; des résultats similaires ont été obtenus pour  $E/C=0,43$ . Ce qui montre que le SRA n'a pas d'effet sur le retrait plastique en condition endogène.

### 3.2 Retrait du béton à l'état durci

#### 3.2.1 Retrait de dessiccation

A long terme, les variations volumiques apparaissent dans le béton pour plusieurs raisons : la variation de la température, le retrait d'autodessiccation (retrait endogène) et la perte de masse du réseau poreux et des gels (retrait de des-



**Figure 5. Influence du rapport E/C et de l'addition d'agent compensateur de retrait sur le comportement à long terme du retrait total.**

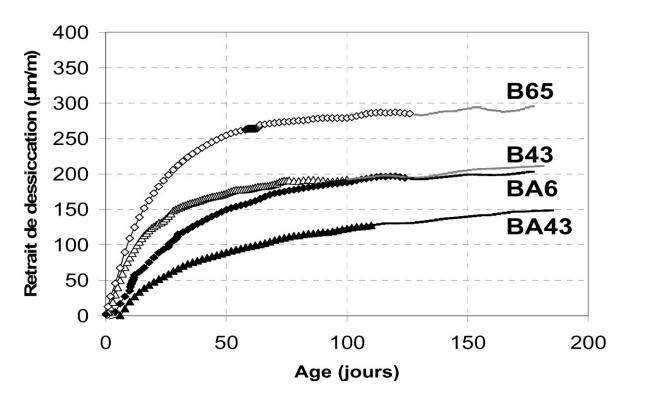
siccation). De plus, la diminution de l'humidité relative dans le réseau poreux provoque des ménisques d'eau qui exercent sur les parois des pores des contraintes importantes et par suite du retrait. Le retrait total est donc égal à la somme des retraits thermique endogène et de dessiccation. Dans ce travail, les spécimens sont maintenus à température constante à 20°C ; par suite les variations de température sont dues aux réactions d'hydratation et peuvent être négligées.

Le retrait total des bétons testés en condition de dessiccation est présenté sur la figure 5. Les courbes de retrait montrent clairement l'effet de l'agent anti-retrait sur la diminution du retrait total de dessiccation. L'addition de l'agent anti-retrait a diminué le retrait de l'ordre de 56 % à 7 jours et 33 % à 70 jours pour E/C=0,65 et 31 % à 25 % pour E/C=0,43 respectivement. La diminution du retrait semble être indépendante du rapport E/C. De plus on peut remarquer que l'effet de l'agent anti-retrait sur la diminution du retrait était plus important pendant les premiers jours. Par suite l'ajout de SRA semble avoir un effet plus grand quand l'humidité relative et la porosité sont relativement plus grandes dans le matériau.

L'effet de SRA est dû surtout à deux phénomènes :

- la redistribution du réseau poreux de la structure en diminuant les pores les plus larges dans ce cas compris entre 0,3 et 1 μm. D'après Konekers (1997), la cinétique d'évaporation est plus grande dans les pores les plus larges. Et d'après le suivi de perte de masse, nous avons observé un taux d'évaporation inférieur pour les formulations contenant le SRA. Donc la saturation liquide baisse moins rapidement dans ces bétons (Bentz, 2001) ;
- la porosité totale est plus grande dans les formulations contenant le SRA ; ce qui peut être dû au retard dans les réactions d'hydratation. Ce qui génère une rétention d'eau plus grande, c'est-à-dire une saturation liquide plus grande qui induit des contraintes internes plus faibles.

Pour calculer le retrait de dessiccation, nous avons estimé qu'il est égal à la différence entre le retrait total et le retrait endogène. Cette simplification permet de tirer des conclusions intéressantes même si l'amplitude n'est pas exacte



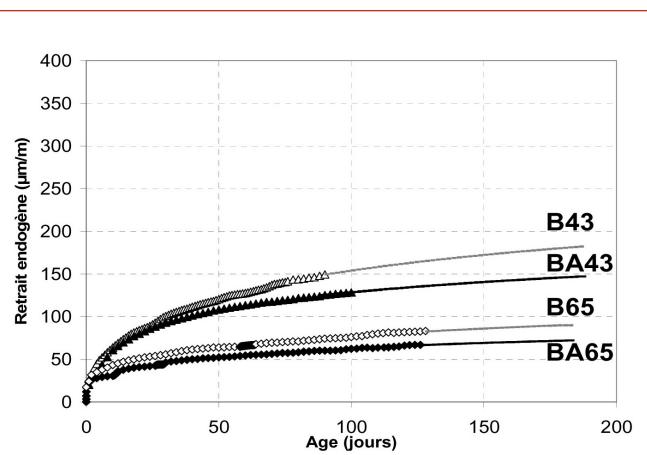
**Figure 6. Influence du rapport E/C et de l'addition d'agent anti-retrait sur le retrait de dessiccation.**

car les conditions d'échange d'humidité avec l'extérieur influent sur l'hydratation. La figure 6 montre que l'effet du SRA est plus important en condition de dessiccation avec E/C=0,43 plutôt que E/C=0,65. Par suite on peut déduire, comme dans le cas de retrait plastique, que l'agent compensateur de retrait est plus efficace à faible humidité relative.

### 3.2.2 Retrait endogène

Le retrait endogène est un phénomène lié au retrait chimique et au retrait d'autodessiccation indépendamment de la perte d'eau extérieure et de la variation de la température. Dans notre étude, la composition de la pâte reste constante : les deux compositions testées ont les mêmes rapports E/C et A/C. Par conséquent, le lien entre l'amplitude du retrait endogène et l'effet de l'agent anti-retrait peut être bien observé.

Le retrait endogène reste relativement faible et évolue ensuite lentement (figure 7) : de l'ordre de 69 μm/m pour la formulation de base et 55,4 μm/m pour les formulations contenant le SRA à 90 jours (moins de 20 % de différence) et de l'ordre de 137 μm/m et 118 μm/m pour E/C=0,43 (14 % de différence). La légère différence de retrait endogène entre les deux formulations avec et sans SRA peut être expliquée par le retard initial d'hydratation et par conséquent une diminution du degré d'hydratation.



**Figure 7. Influence du rapport E/C et de l'addition d'agent anti-retrait sur le retrait endogène.**

### 3.2.3 Perte de masse

La variation de perte de masse a été suivie en parallèle avec le retrait sur des éprouvettes  $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$  exposées aux mêmes conditions ( $\text{HR}=50\%$ ,  $T=20^\circ\text{C}$ ). Les résultats montrent que la différence entre les deux formulations avec et sans SRA est inférieure à 0,2 % de la masse de l'éprouvette ; ce qui n'est pas assez significatif. De plus, la cinétique est la même pour les deux bétons. Après une évolution très rapide pendant les premiers jours, qui correspond à la phase de perte de masse sans retrait, la masse de l'échantillon semble se stabiliser.

Nous avons aussi tracé l'évolution du retrait de dessiccation en fonction de la perte de masse (figure 8). Deux phases se distinguent : la première correspond à une perte de masse sans retrait, et la deuxième à une augmentation beaucoup plus rapide et quasi linéaire du retrait en fonction de la perte de masse. Les explications précédentes supposent que la première phase correspond au départ de l'eau de surface, et la deuxième au départ de l'eau contenue dans la masse de l'éprouvette, associée au retrait. On peut remarquer que l'addition de l'agent compensateur de retrait présente une pente inférieure aux autres formulations. Par suite une cinétique de retrait différente.

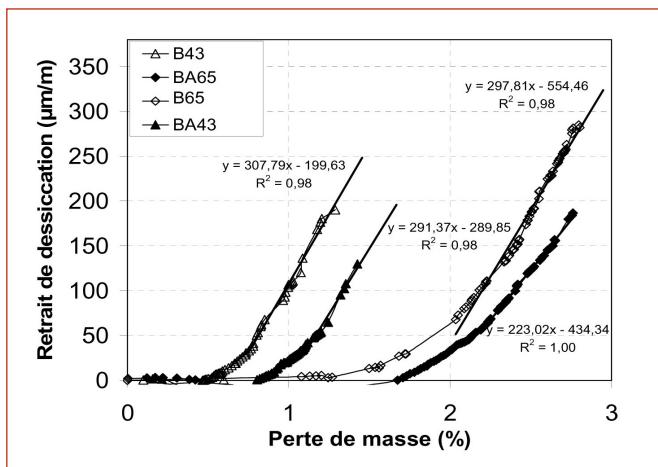


Figure 8. Retrait de dessiccation en fonction de la perte de masse.

## 3.3 Interprétation des résultats

Selon leur nature les produits de cure ont une grande influence sur les caractéristiques de perméabilité dans les bétons et par conséquent sur leur durabilité. Une étude sur la porosité totale ainsi que la distribution poreuse en complément des mesures de retrait est donc intéressante. De plus elle nous permet de mieux comprendre l'effet de l'agent compensateur de retrait.

Quatre essais de porosimétrie à mercure ont été réalisés. Pour chaque formulation avec et sans SRA nous avons prélevé deux échantillons, l'un au cœur de l'éprouvette et un autre en peau. Les deux échantillons prélevés au cœur et en peau présentent des distributions poreuses quasi identiques. Par contre, la porosité totale de la formulation contenant le SRA (12 %) est plus élevée que celle de la formulation de base (11 %). La plus grande porosité peut être due à la réduction du taux d'hydratation et par consé-

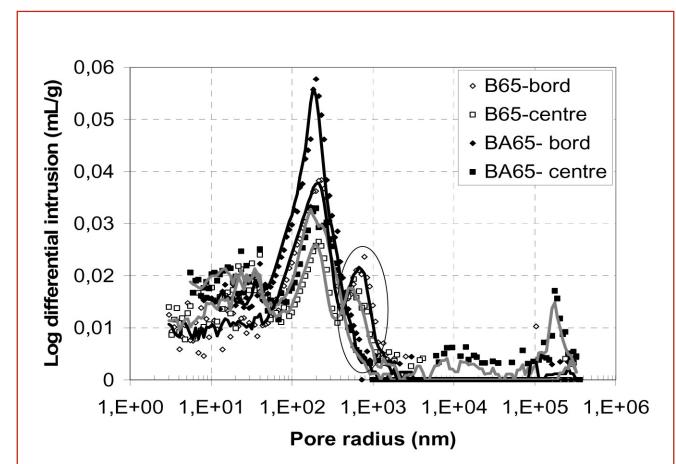


Figure 9. Distribution des diamètres des pores (en nm) pour E/C=0,65 avec et sans SRA.

quent à un retard de prise et un développement de résistance plus lent.

La distribution des pores est présentée en fonction du rayon  $r$  (figure 9). Un mode poral supplémentaire dans la formulation de base est observé par rapport à la formulation contenant le SRA pour des diamètres compris entre 0,3 à  $1\mu\text{m}$ , avec un second pic situé à  $0,5\mu\text{m}/\text{m}$ . Ceci peut être expliqué par le rôle de prévention de la dessiccation de l'agent compensateur de retrait et par conséquent une meilleure distribution du réseau poreux. Des essais de porosimétrie à l'eau ont aussi été effectués sur des échantillons semblables et les résultats obtenus présentent une porosité supérieure avec les formulations contenant le SRA, ce qui confirme les essais de porosimétrie à mercure. Le mode poral dans les pâtes de ciment ayant une large influence sur le phénomène de dessiccation ainsi que sur le développement de la dépression capillaire, ceci peut expliquer la différence au niveau du séchage et donc du retrait de dessiccation. De plus, l'augmentation de porosité peut expliquer la légère diminution de la résistance en compression (Bentz, 2001). Pour le béton de rapport E/C=0,65, on a observé une diminution de 4 à 7 % de la résistance à 90 jours pour la formulation contenant d'agent compensateur de retrait, et une réduction de 8 à 14 % pour le béton de rapport E/C=0,43 respectivement. Le module d'élasticité variant dans le même sens, la résistance augmente rapidement pendant les premiers jours pour atteindre une valeur de 48,1MPa à 45,2MPa pour B65 et BA65 et 49,9MPa à 49,8MPa pour B43 et BA43 respectivement.

## 4. CONCLUSION

En se basant sur les résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons dégager les conclusions suivantes sur l'effet de l'agent anti-retrait :

- il a un effet retardateur sur la prise en augmentant la maniabilité et la défloction des formulations,
- il a un faible effet sur le retrait plastique pour E/C=0,65, mais un effet plus prononcé a été observé pour E/C=0,43 avec une différence de  $300\mu\text{m}/\text{m}$ . Les mêmes mesures de retrait plastique effectuées en

condition endogène présentent des comportements similaires et par suite l'agent n'a pas d'effet en condition endogène,

- il réduit le retrait de séchage du béton durci de 56 % à 7 jours et 33 % à 70 jours pour E/C=0,65, et 31 % à 25 % pour E/C=0,43 respectivement. Par suite l'effet de SRA est plus important sur la diminution du retrait au jeune âge. Une légère diminution du retrait est observée en condition endogène de l'ordre de 20 % pour E/C=0,65 et 14 % pour E/C=0,43,
- en ce qui concerne les propriétés mécaniques, il augmente légèrement la porosité totale du béton, et par conséquent diminue la résistance à la compression et le module élastique. De plus il modifie le réseau poreux ; ainsi les formulations témoins ont un réseau poreux supplémentaire pour les pores de diamètre compris entre 0,3 et 1 $\mu$ m.

Les résultats montrent clairement l'effet de l'agent compensateur de retrait sur le retrait à faible humidité relative. Le mécanisme de séchage dépend du réseau poreux. Par suite en reliant ces observations aux mesures de la dépression capillaire au jeune âge et des essais de porosimétrie, on peut dire que l'agent compensateur de retrait agit en modifiant le réseau poreux. Cela influe sur les mouvements d'eau et la microstructure et par conséquent sur le retrait.

## BIBLIOGRAPHIE

Bentz D.P., Hansen K.K., Geiker M.R., « Shrinkage-Reducing Admixtures and Early Age Desiccation in Cement Pastes and Mortars », *Cement and Concrete Research*, V. 31, No. 7, 2001, pp. 1075-1085.

Jensen O. M., Lura P., « Techniques and materials for internal water curing of concrete », *Materials and Structures*, V.39, 2006, pp. 817-825.

Lura P., Pease B., Mazzotta G. B., Rajabipour F., Weiss J., « Influence of shrinkage-Reducing Admixtures on Development of Plastic Shrinkage cracks », *ACI Materials Journal*, V. 104, N°.2, March-April 2007.

Rozière E., Granger S., Turcry Ph., Loukili A., « Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete », *Cement and Concrete Composites*, Volume 29, Issue 8, September 2007, pp 626-636.

Radocea A., « A model of plastic shrinkage », *Magazine of Concrete Research*, V. 46, No. 167, June 1994, pp. 125-132.

Slowik V., Schmidt M., Fritzsch R., « Capillary pressure in fresh cement-based materials and identification of air entry value », *Cement and Concrete Composites*, 2008.

Turcry P., Retrait et fissuration des bétons autoplancants, influence de la formulation, Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes 2004.

Turcry P., Loukili A., « Evaluation of Plastic Shrinkage cracking of Self-Consolidating Concrete », *ACI Materials Journal*, V.103,N°.4, July-August 2006.

Uno P. J., « Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas », *ACI Materials Journal*, V. 95, No. 4, July-Aug. 1998, pp. 365-375.

Weiss J., Lura P., Rajabipour F., Sant G., « Performance of Shrinkage-Reducing Admixtures at Different Humidities and at Early Ages », *ACI Materials Journal*, V. 105, No. 5, September-October 2008.