

Effet de la composition sur la ségrégation des bétons

Fatiha Boudjedra¹, Abdelhalim Benouis², Abdelouaheb Grini²

¹Département de Génie Civil, Université d'Oum El Bouaghi (04000) Algérie. boudjedrafatiha@hotmail.com

²Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique, Université 8 mai 1945, Guelma (24000) Algérie.

benouis_h@yahoo.fr, abdelouahebgrini@yahoo.fr.

RÉSUMÉ. La ségrégation est la séparation des constituants du béton qui peut se produire lors de la mise en place dans les coffrages. Afin de rester homogène tout au long des différentes étapes, le matériau doit répondre à ces sollicitations de différentes manières. L'objectif de ce travail est l'étude des effets de la composition du béton sur le phénomène de la ségrégation et d'essayer de corréliser les résultats des différents essais de caractérisation. Douze (12) compositions de bétons sont proposées pour les différents essais avec des variations des rapports (E/C) et de la granulométrie des graviers. Les essais sur béton frais ont concerné la détermination pour chacune des douze compositions de l'étalement au cône d'Abrams, de la stabilité au tamis et enfin de la résistance à la ségrégation. Les résultats obtenus nous permettent de souligner le rôle important des deux paramètres variables des bétons testés, à savoir le dosage en eau et la granulométrie des graviers. Les relations entre les dosages en eau et les indicateurs de la ségrégation sont toujours linéaires, ce qui implique une certaine proportionnalité mais conduisent à des valeurs admises différentes. On obtient des étalements admis pour les trois premiers rapports de E/C (0,32 - 0,35 et 0,40), une stabilité au tamis correcte concerne deux rapports de E/C (0,32 - 0,35), alors que la résistance à la ségrégation concerne seulement les seuls bétons de rapport E/C=0,32. La grosseur des graviers joue aussi un rôle important dans la ségrégation des bétons, ce qui ressort des résultats obtenus où la résistance à la ségrégation s'annule pour le gravier 15/25 alors qu'elle dépasse les 60% pour le gravier 5/15 pour le même rapport E/C=0,45.

ABSTRACT. The Segregation is the separation of the concrete constituents that may occur during the installation in the formwork. To remain homogeneous all along the different steps, the material must answer these solicitations in various ways. The objective of the proposed work is to study the effects of the concrete's composition on the phenomenon of segregation and try to correlate the results of the different tests of his characterization. Twelve (12) compositions of concrete are provided for the various tests with variations in the ratios (W / C) and the gravel 's granulometry.

On fresh concrete tests were for determining - for each of the twelve compositions - the slump flow with Abrams cone, stability sieve and finally the resistance to segregation. The results obtained indicated the important role of the two variable parameters of the tested concretes, namely the water/cement ratio and aggregate granulometry. The relationship between the dosages in water and indicators of segregation are still linear, which implies a certain proportionality but lead to different values allowed. Of allowed smears were obtained for the first three W / C ratios(0.32 to 0.35 and 0.40), a correct sieve stability concerns two ratios W / C (0.32 to 0.35) while the resistance to segregation concerns only one ratio W / C = 0.32. The size of the gravel also plays an important role in the segregation of concrete, what emerges from the results obtained where resistance to segregation is very weak for the 15/25 gravel while it exceeds 60% for gravel 5/15 for the same ratio W / C = 0.45.

MOTS-CLÉS : béton, composition, ségrégation, étalement, stabilité.

KEYWORDS: concrete, mixture, segregation, flow, stability.

1. Introduction

Le béton frais est un mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, il se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

La propriété essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Elle est principalement influencée par le dosage du liant, la forme des granulats, la granulométrie et le dosage en eau.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité (affaissement au cône d'Abrams, étalement à la table à secousses, essai au maniabilimètre LCPC).

Le béton autoplaçant ou BAP est un béton spécial, très fluide, qui se met en place et se sert sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferrailés. Ce béton n'est évidemment qualifié d'autoplaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes sans avoir subi de ségrégation [SED 1999]. Malgré les différentes méthodes de formulation existantes, certaines caractéristiques demeurent intrinsèques aux BAP mais peuvent légèrement différer d'une approche à l'autre. On retrouve parmi ces caractéristiques un volume de pâte élevé, une quantité de fines ($\emptyset < 80 \mu\text{m}$) importante, l'emploi de superplastifiants, l'utilisation éventuelle d'un agent de viscosité (réteneur d'eau) et un faible volume de gravillon [PAC 2010].

Ces bétons fluides sont donc susceptibles de subir une ségrégation qui peut nuire à leur propriétés à l'état durci et à leur durabilité. La ségrégation est donc un phénomène de séparation des constituants d'un béton ou d'un mortier frais, qui peut être provoquée par une mauvaise composition du béton, une mise en œuvre inadéquate, un transport inadéquat ...etc. Ce phénomène apparaît plus facilement lorsque la fraction de la phase liquide est plutôt importante et/ou la viscosité de la suspension sont faibles.

L'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. En augmentant la quantité d'eau, la concentration en solide diminue, et le béton devient fluide. Cependant, en plus de diminuer la résistance mécanique du béton durci, l'introduction excessive d'eau provoque des problèmes de ségrégation [HU 1995]. La ségrégation peut aussi être causée par une mauvaise granulométrie, les bétons constitués par des grains ronds et lisses sont plus enclins à la ségrégation que les mélanges de pierres concassées à arêtes vives dont les frottements internes sont plus élevés. Un malaxage insuffisant peut provoquer le phénomène de la ségrégation ainsi qu'un malaxage excessif.

La vibration a une influence sur l'ouvrabilité du matériau où elle favorise sa mise en place [PAT 2004]. Il apparaît que l'influence de la vibration est notamment de réduire, voire de supprimer le seuil de cisaillement des pâtes de ciment [HU 1995]. Le transport et la géométrie des coffrages peuvent aussi provoquer un phénomène de ségrégation.

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des solides en fonction de leurs dimensions. Les bétons fluides (BAP) en raison de leurs propriétés rhéologiques particulières présentent souvent le risque de ségrégation.

La littérature relate bien des essais de caractérisation de la ségrégation du béton, on retrouve les essais sur le béton frais (essais au tamis, au cylindre, à la colonne, ... etc.) ainsi que les essais sur éprouvettes de béton durci ou en cours de durcissement (méthodes des ultrasons, du comptage des granulats et des rayons gamma). Les essais qui permettent de vérifier la ségrégation statique du béton frais (l'essai au tamis, l'essai au cylindre et l'essai à la colonne) sont encore à l'étude. L'objectif du travail est d'étudier les effets de la composition du béton sur la ségrégation des bétons et d'étudier les corrélations entre les résultats des différents essais de sa caractérisation.

2. MATERIAUX ET ESSAIS

2.1. Compositions des bétons

Nous avons utilisé pour la confection des bétons des constituants disponibles et très utilisés localement :

- ▶ Deux graviers concassés (**G** : **5/15** et **15/25**) de la carrière SARL SAPAM (Bendjerah Guelma) ;
- ▶ Sable de carrière (**S** : **0/5**) de la carrière SARL SAPAM (Bendjerah Guelma) ;
- ▶ Ciment portland composé (**C**) CEM II/A 42.5 (Hadjar soud . Skikda) ;
- ▶ Un super plastifiant (**SP**) Medaplast SP40 de Granitex.

Le rapport **G/S** est fixé à 1.05 et le rapport **SP/C** à 2 % pour tous les bétons testés. Les compositions des bétons se différencient alors par le rapport **E/C** et aussi par le type du gravier. Dans cette étude, on trouve trois types de béton qui sont différenciés par le type du gravier : **B1** (gravier 5/15), **B2** (gravier 15/25) et **B3** (gravier

5/15 + 15/25) ; et pour chacun de ces bétons, quatre rapport E/C ont été utilisés : 0.32, 0.35, 0.40 et 0.45. Donc, en final douze bétons ont été mis en œuvre dans cette étude. Toutes les compositions des bétons sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition des différents bétons

Bétons	Composition en Kg/m ³						G/S	E/C	SP/C (%)	
	Gravier 5/15	Gravier 15/25	Sable 0/5	Ciment	Eau	SP				
B1	1	775.00	0.00	736.00	618.00	198.00	12.35	1.05	0.32	2
	2	775.00	0.00	736.00	590.00	207.00	11.81	1.05	0.35	2
	3	775,00	0.00	736.00	550.00	220.00	11.00	1.05	0.40	2
	4	775.00	0.00	736.00	515.00	232.00	10.29	1.05	0.45	2
B2	1	0.00	775.00	736.00	618.00	198.00	12.35	1.05	0.32	2
	2	0.00	775.00	736.00	590.00	207.00	11.81	1.05	0.35	2
	3	0.00	775.00	736.00	550.00	220.00	11.00	1.05	0.40	2
	4	0.00	775.00	736,00	515.00	232.00	10.29	1.05	0.45	2
B3	1	387.50	387.50	736,00	618,00	198,00	12,35	1.05	0.32	2
	2	387.50	387.50	736.00	590.00	207.00	11.81	1.05	0.35	2
	3	387.50	387.50	736.00	550.00	220.00	11.00	1.05	0.40	2
	4	387.50	387.50	736.00	515.00	232.00	10.29	1.05	0.45	2

On détermine la ségrégation de ces douze bétons par le biais de trois essais : l'étalement (cône d'Abrams), la stabilité au tamis selon les recommandations de l'AFGC [AFG 2002] et la résistance à la ségrégation (comptage des graviers) par un essai à la colonne.

2.2. Essais réalisés

2.2.1. Essai d'étalement (BAP)

Cet essai caractérise la fluidité des bétons en milieu non confiné. le résultat est exprimé en termes de moyenne des deux valeurs des diamètres opposées obtenues. $D = (D1 + D2) / 2$. Pour cet essai, on a observé plusieurs formes d'étalement (fig. 1) dues à l'influence du rapport E/C et des types des graviers.



Figure 1. Différentes formes d'étalement

2.2.2. Essai à la colonne

Cet essai permet d'obtenir une certaine appréciation de la résistance à la ségrégation du béton durci.

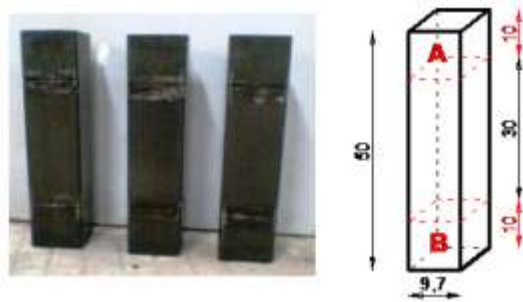


Figure 2. Moules prismatiques utilisés ($h= 500 \text{ mm}$; $a= 97 \text{ mm}$).

Le béton frais est mis en place dans le moule et laissé au repos pendant une heure. On prélève 10 cm de béton à chaque extrémité du moule (partie supérieure (A), partie inférieure (B)). Les granulats ($>5\text{mm}$) de chaque extrémité (A et B) sont lavés et séchés, puis pesés. La résistance à la ségrégation est déterminé par le rapport des poids des granulats (A/B).



Figure 3. Etapes de l'essai à la colonne.

2.2. 3. Essai de stabilité au tamis

Cet essai permet d'obtenir une le mode opératoire consiste à verser directement 10 litre de béton dans un seau puis poser le tamis et le fond sur la balance puis verser au centre du tamis un poids de béton égale à $4,8 \text{ Kg} \pm 0,2 \text{ Kg}$ avec une hauteur de chute du béton $50 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$., On attend 2 minutes avant de peser la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. On calcule le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.

$$\pi = (P_{\text{laitance}} / P_{\text{échantillon}}) 100$$

la mesure de cet indice conduit à classer les bétons ($0 \leq \pi \leq 15 \%$ stabilité satisfaisante, $15 \% < \pi \leq 30 \%$ stabilité critique, $\pi > 30 \%$ stabilité très mauvaise, béton inutilisable).

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chaque type d'essai a été réalisé trois fois pour chaque type béton. Les valeurs moyennes des résultats sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2. Résultats des indices de ségrégation.

Bétons		caractérisations		
		Étalement D (cm)	Stabilité au tamis II (%)	Résistance à la ségrégation A/B (%)
B1	1	62	6.60 ± 0.32	95.30 ± 0.7
	2	66.50	11.92 ± 0.55	88.27 ± 0.39
	3	73.50	21.16 ± 2.09	71.32 ± 1.45
	4	77	26.28 ± 2.12	63.23 ± 0.66
B2	1	58	4.60 ± 0.99	94.81 ± 1.52
	2	67	12.60 ± 1.20	87.38 ± 2.15
	3	75	29.68 ± 1.07	45.05 ± 2.76
	4	84.50	35.85 ± 3.01	1.82 ± 1.68
B3	1	62.50	4.82 ± 0.45	95.06 ± 3.83
	2	67	10.52 ± 0.61	88.09 ± 1.51
	3	74.50	27.70 ± 1.98	52.45 ± 2.97
	4	79.50	34.28 ± 0.76	48.13 ± 3.46

L'effet de quelques paramètres de composition des bétons l'évolution des indicateurs de la ségrégation, en l'occurrence l'étalement « **D** », la stabilité au tamis « **II** » et l'indice de résistance à la ségrégation « **A/B** » est analysé. Ces paramètres concernent le dosage en eau et la granulométrie des graviers.

3.1. Effet du dosage en eau et de la granulométrie des graviers sur l'étalement

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation [ZRE 2009], l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton [LE 2007]. L'ajout d'eau permet une augmentation considérable de l'étalement [CHO 1995]. Cependant, il est essentiel de ne pas perdre de vue l'aspect de la cohésion du béton qui doit être vérifié [HOA 2013].

L'évolution de l'étalement de tous les bétons étudiés (fig. 5) présente une proportionnalité avec le dosage en eau. Ce qui implique que ce dernier est le principal paramètre qui gouverne l'étalement des bétons. Le fait de s'intéresser à chaque béton (chaque type de gravier) ne change pas cette relation mais la rend plus précise.

On remarque que tous les bétons présentent des étalements conformes aux prescriptions des BAP, hormis les bétons de rapport E/C=0,45 qui donnent des étalements supérieurs de 3% à 13% à la limite supérieure admise.

La taille maximale des granulats est aussi un facteur non négligeable, en effet, plus la taille des granulats augmente, plus le risque de ségrégation augmente. Ce qui confirme le résultats de [SID 1982 - PAT 2007]. Afin de mettre en évidence l'influence de la granulométrie, trois types de gravier ont été considérés. Il s'agit des classe (5/15) pour le béton **B1**, (15/25) pour le béton **B2** et (5/15 + 15/25) pour le béton **B3**. On remarque que pour les rapports E/C=0,35 et E/C=0,40, la grosseur des graviers n'a presque pas d'effet sur l'étalement. Tandis que pour les rapports E/C extrêmes (E/C=0,32 et 0,45), les gros graviers conduisent au plus faible étalement pour le rapport E/C=0,32 et au plus important étalement pour le rapport E/C=0,45. Les deux bétons B1 et B3 gardent des étalements similaires. Les différents bétons présentent des étalements conformes à ceux des bétons autoplaçants pour les rapports E/C= 0,32, 0,35 et 0,40 tandis que le rapport E/C=0,45, les trois bétons sortent des plages prescrites pour les BAP avec un étalement du béton B2 (gravier 15/25) excessif.

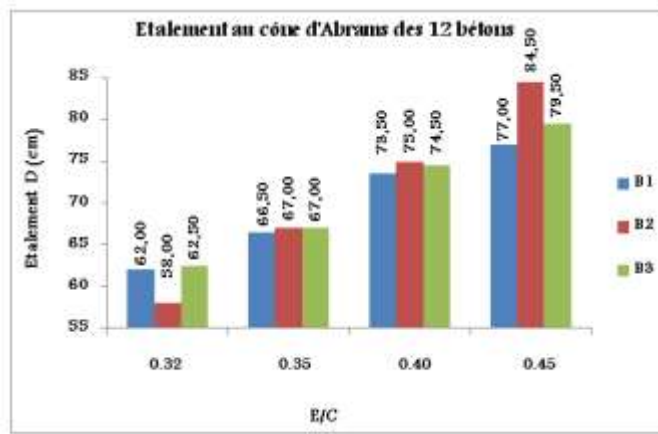


Figure 5. Influence de la composition sur l'étalement des différents bétons.

3.2. Effet du dosage en eau et de la granulométrie des graviers sur la stabilité au tamis

La figure 6, montre l'effet de la grosseur du gravier sur la stabilité au tamis. Selon les recommandations de l'AFGC, on remarque que les trois bétons (**B1**, **B2**, **B3**) avec les rapports E/C=0,32 et 0,35, présentent une stabilité satisfaisante ($\Pi < 15\%$) où la granulométrie des bétons n'a presque pas d'effet sur la stabilité aux tamis.

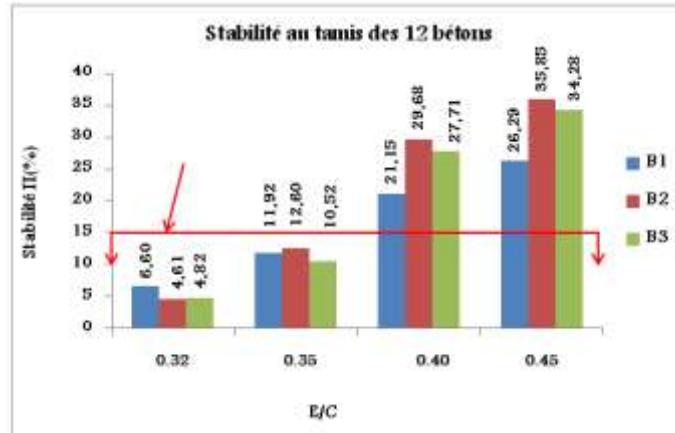


Figure 6. Influence de la composition sur la stabilité au tamis des différents bétons.

L'effet négatif de la grosseur des graviers s'aperçoit pour les rapports E/C=0,40 et 0,45. Avec le rapport E/C=0,40, la stabilité est critique ($15 < \Pi \leq 30\%$), la grosseur des graviers n'a presque pas d'effet pour les bétons **B2**(15/25) et **B3** (5/15 + 15/25), tandis qu'il y a une certaine diminution pour le béton **B1**(5/15).

Les gros graviers (15/25) qui entrent dans la composition des bétons **B2** et **B3**, pour le rapport E/C=0,45, conduisent à une valeur maximale de la stabilité ($\Pi > 30\%$) et la stabilité est considérée comme très mauvaise [AFGC2008], et même critique pour le béton **B2** (5/15).

3.3. Effet de la composition sur la résistance à la ségrégation

On peut noter sur la figure 7, que le risque de ségrégation statique commence à devenir progressivement important lorsque le rapport E/C dépasse la valeur de 0,32.

L'effet de la granulométrie des graviers sur la résistance à la ségrégation des trois bétons (**B1**, **B2**, **B3**) pour les rapports E/C = 0,32 et 0,35 est négligeable.

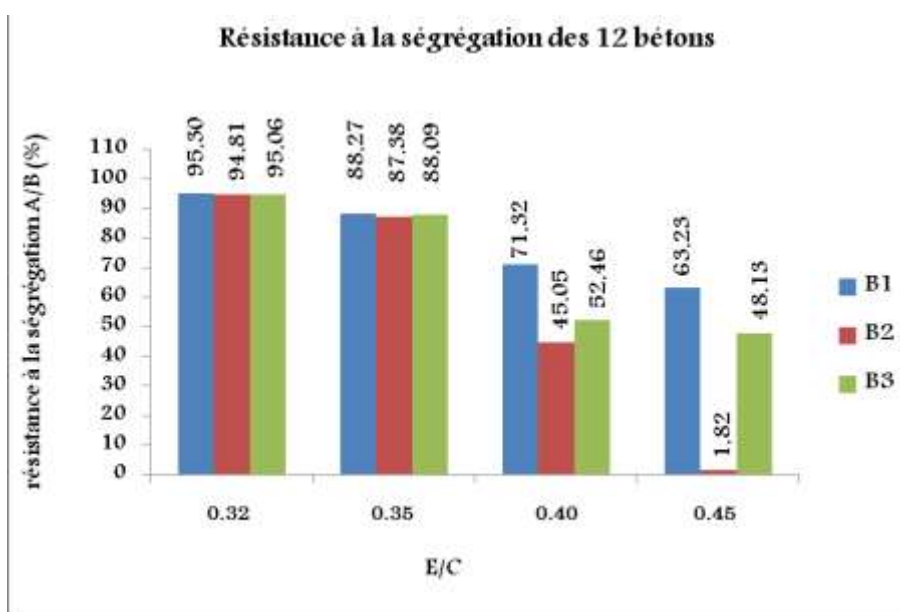


Figure 7. Effet de la composition sur la résistance à la ségrégation des différents bétons

La résistance à la ségrégation pour les deux bétons **B1** (5/15) et **B3** (5/15 + 15/25) subit une chute progressive alors que pour le béton **B2**, et dès que le rapport E/C atteint la valeur de 0,40, on observe une chute importante de la résistance à la ségrégation. Cette résistance tends à s'annuler pour le rapport E/C=0,45. Donc, la grosseur des graviers est un paramètre influant sur la résistance à la ségrégation.

4. CONCLUSION

Il est important de noter que les différents essais réalisés, permettent de caractériser seulement la ségrégation statique. Si les deux premiers essais sont reconnus à travers les recommandations de l'AFGC concernant l'autoplasticité des bétons, le troisième essai (résistance à la ségrégation) est encore du domaine de la recherche. La valeur de A/B égale à 95% n'est que le résultat de quelques études dans le domaine.

Les résultats obtenus nous permettent de souligner le rôle important des deux paramètres variables des bétons testés, à savoir le dosage en eau et la granulométrie des granulats.

Les relations entre les dosage en eau et les indicateurs de la ségrégation sont toujours linéaires, ce qui implique une certaine proportionnalité mais conduisant à des valeurs admises différentes. On obtient des étalements admis pour les trois premiers rapports de E/C (0,32 - 0,35 et 0,40), une stabilité correcte concerne deux rapports de E/C (0,32 - 0,35) alors que la résistance à la ségrégation concerne seulement les seuls bétons de rapport E/C=0,32. La grosseur des graviers joue aussi un rôle important dans la ségrégation des bétons, ce qui ressort des résultats obtenus où la résistance à la ségrégation s'annule pour le gravier 15/25 alors qu'elle dépasse les 60% pour le gravier 5/15 pour le même rapport E/C=0,45.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [AFG 2002] Association française de Génie Civil (AFGC), Bétons Autoplaçants, Recommandations provisoires, 2002.
- [CHO 1995] CHONG H., Rhéologie des bétons fluides, thèse de doctorat de l'école nationale des ponts chaussées, 1995.
- [HOA 2013] HOANG Q. et al., «Caractérisation de la ségrégation des coulis cimentaires par rhéométrie», *31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31 mai 2013*.
- [HU 1995] HU C., Rhéologie des bétons fluides, Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, OA 16, 203 p., Paris, France, 1995.
- [LE 2007] LE N., Amélioration de la régularité du béton en production, thèse de doctorat de l'école nationale des ponts chaussées, 2007.
- [PAC 2010] PACO D., Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement autoplaçant du béton, thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2010.

- [PAT 2007] PATTOFATTO S., Comportement dynamique du béton frais, , thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, 2007.
- [SED 1999] SEDRAN T., "Rhéologie et rhéomètre des bétons. application aux bétons autonivelants ", thèse de doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées, 1999.
- [SID 1982] SIDKEY M. et al., «Influence des caractéristiques de la pâte de ciment et des granulats sur la ségrégation interne dans le béton frais», *Matériaux et Construction*, January 1982, Vol. 15, n°1, p. 11-19.
- [ZRE 2009] ZREIKI J., Comportement du béton au jeune âge dans les structures massives. Application au cas de réparation des ouvrages, thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, 2009.