

## Influence of the type of mineral admixtures on the transport properties of self compacting concrete

## Influence du type d'addition minérale sur les propriétés de transfert des Bétons AutoPlaçants

H. SIAD<sup>1</sup>, S. KAMALI BERNARD<sup>2</sup>, H.A. MESBAH<sup>3</sup>, M. MOULI<sup>4</sup> et H. KHELAFI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université de Bouira, Institut des sciences, Bouira, Algérie

<sup>2</sup>INSA de Rennes, LGCGM, Rennes, France

<sup>3</sup>IET de Rennes, Dept de Génie Civil, Rennes, France

<sup>4</sup>ENSET d'Oran, Dept de Génie Civil, Oran, Algérie

**Abstract.** Formulation of self compacting concrete (SCC) has some specific characteristics including a high volume of paste and a large amount of mineral admixtures. These two parameters influence significantly the transport properties of SCC. In this work, we studied the influence of nature and the percentage of several mineral admixtures on some transport properties (the ions diffusion and chloride gas permeability) of the SCC. Three different mineral additives were tested: the limestone fillers, the natural pozzolan and the fly ash. Then we looked for the analytical relationship between these properties and the compressive strength of concrete. A total of twelve formulations were studied, they cover three different compressive strength classes (30 MPa, 50 MPa and 70 MPa) and four types of concrete: ordinary vibrated concrete, a SCC containing natural pozzolan, a SCC based with limestone fillers and SCC containing fly ash. The results show that the nature of the mineral admixtures in SCC influence on the transport properties of these concretes. After 28, 90 and 360 days of curing, the SCC containing natural pozzolan represent very similar performance to those obtained on SCC containing fly ash and much better than those obtained on SCC formulated with limestone filler. Regardless of the type of mineral admixtures, the results confirm the existence of a strong correlation between development of compressive strength and transport properties of SCC.

**Résumé.** La formulation des bétons autoplaçants (BAP) présente certaines spécificités dont un volume élevé de pâte et une quantité importante d'ajouts minéraux. Ces deux paramètres influencent sensiblement les propriétés de transfert de ces bétons. Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la nature et du pourcentage de plusieurs additions minérales sur certaines propriétés de transfert (la diffusion des ions chlore et la perméabilité au gaz) des BAP. Trois différentes additions minérales ont été testées : des fillers calcaires, de la pouzzolane naturelle et des cendres volantes. Ensuite, nous avons

cherché une probable relation analytique entre ces propriétés et la résistance à la compression de ces bétons. Au total, douze formulations ont été étudiées, elles couvrent trois différentes classes de résistances (30 MPa, 50 MPa et 70 MPa) et quatre types de bétons: un béton ordinaire vibré, un BAP à base de pouzzolanes naturelles, un BAP à base de fillers calcaires et un BAP à base de cendres volantes. Les résultats montrent que la nature de l'addition minérale dans les BAP influe considérablement sur les propriétés de transferts de ces bétons. Après 28, 90 et 360 jours de cure, les BAP contenant de la pouzzolane naturelle représentent des performances très comparables à celles obtenues sur des BAP à base de cendres volantes et bien meilleures que celles obtenues sur des BAP formulés avec du filler calcaire. Indépendamment du type d'addition minérale, les résultats confirment l'existence d'une forte corrélation entre le développement de la résistance à la compression et les propriétés de transferts des BAP.

## 1 Introduction

Les formulations des BAP se distinguent par un volume élevé de pâte et d'addition minérale. S'ils offrent de multiples avantages à leurs utilisateurs, les bétons autoplaçants présentent aussi un domaine de recherche qui possède un fort potentiel de développement.

La durabilité des bétons en général et du BAP en particulier dépend en grande partie de leurs propriétés de transport et en particulier de leur diffusivité et leur perméabilité [8]. Les essais utilisés pour caractériser ces deux paramètres peuvent fournir les renseignements nécessaires. Cependant, la nécessité de réétudier les compositions des BAP avec chaque changement dans la composition peut rendre la caractérisation lente et difficile. La résistance à la compression peut être une solution rapide et un bon indicateur du niveau de perméabilité à l'air [9] et du coefficient de diffusion [3]. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de recherche.

L'objectif est d'étudier l'effet de trois additions minérales : la pouzzolane naturelle de Beni-Saf (Algérie), le filler calcaire, et la cendre volante sur la diffusion et la perméabilité des BAP et de chercher ainsi, une probable corrélation analytique entre les résultats de ces deux paramètres physico-chimiques et les valeurs de la résistance à la compression.

## 2 Matériaux utilisés

Le tableau 1 regroupe les différentes caractéristiques physico-chimiques des matériaux utilisés.

**Tableau 1 : Analyse chimique et caractéristiques physiques des additions utilisées.**

Composition %	C	FC	CV	PZ
SiO <sub>2</sub>	21	0.4	49.6	45.67
CaCO <sub>3</sub>	-	98.5	-	-
CaO	68	-	3.00	8.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.81	-	23.8	15.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.26	-	17	10.14
Densité	3.13	2.70	2.2	2.61
finesse Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	380	406	384	365.6
Indice d'activité i <sub>28</sub>	-	0.75	0.79	0.81

C: Ciment, FC: Filler Calcaire, CV: Cendre Volante, PZ: Pouzzolane

### 3 Méthodes de formulation

La formulation des BAP est déterminée par le logiciel « BétonLab.Pro » en tenant compte des différentes données relatives aux matériaux utilisés.

Le tableau 2 représente la composition des différents bétons élaborés.

**Tableau 2 : Formulation des bétons d'essais**

Composition (kg/m <sup>3</sup> ) Bétons	C	FC	PZ	CV	S (0/4)	G 4/12	E (l)	SP (l)	E/L	RC 28 MPa	RC 90 MPa	RC 360 MPa
BOV30	260	-	-	-	830	1171	183	0,9	0,7	29,5	32,9	34,8
BAP30 FC	260	260	-	-	807	825	199	2,9	0,7	32,5	35,5	38,1
BAP30 PZ	260	-	260	-	781	798	215	3,7	0,7	31,1	37,3	51,4
BAP30 CV	260	-	-	260	757	775	215	3,8	0,7	30,9	39,3	54,9
BOV 50	350	-	-	-	777	1095	182	9,0	0,52	48,7	54,3	60,1
BAP50 FC	350	170	-	-	814	832	198	6,7	0,52	51,1	55,8	65,5
BAP50 PZ	350	-	170	-	790	807	214	6,0	0,52	50,9	60,3	72,9
BAP50 CV	350	-	-	170	774	792	214	4,0	0,52	50,3	61,1	74,1
BOV 70	450	-	-	-	746	1054	176	2,9	0,39	69,9	73,1	83,4
BAP70 FC	450	70	-	-	839	858	183	9,7	0,4	71,8	73,9	86,1
BAP70 PZ	450	-	70	-	831	851	188	10,5	0,4	71,2	77,5	89,6
BAP70 CV	450	-	-	70	825	844	188	11,5	0,4	70,8	78,6	90,6

S: Sable, G: Gravier, E: Eau, SP: Superplastifiant, RC: Résistance à la Compression, E/L: Eau/Liant

Pour les RC, les formulations sont basées sur des résistances égales ou proches de 30, 50 et 70 MPa. Des mesures sont effectuées pour confirmer les classes souhaitées.

Selon le tableau 2, les résultats des RC à 28 jours sont proches des classes de résistance cherchées. Ce qui confirme la fiabilité de la méthode de formulation utilisée. Néanmoins une différence sensible pour les autres échéances de conservation a été enregistrée.

## 4 Résultats expérimentaux et analyses

### 4.1 Coefficient de diffusion apparent (D<sub>nssm</sub>)

L'analyse des essais existants a permis de choisir le mode opératoire de l'essai de migration en régime transitoire recommandé par la norme NT BUILD 492 [10]. Les résultats des mesures du coefficient de diffusion apparent des bétons étudiés en fonction du temps sont présentés sur les figures 1, 2 et 3. Le détail des essais est décrit dans (Siad, 2010) [7].

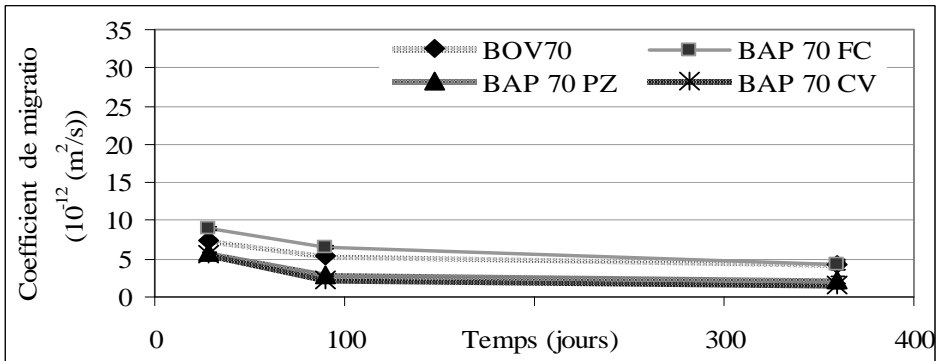


Fig. 1. Coefficient de diffusion apparent des bétons étudiés, après 28 jours de cure

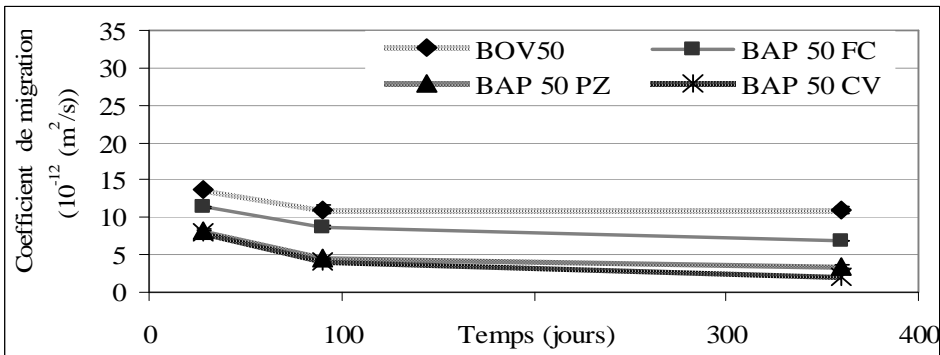


Fig. 2. Coefficient de diffusion apparent des bétons étudiés, après 90 jours de cure

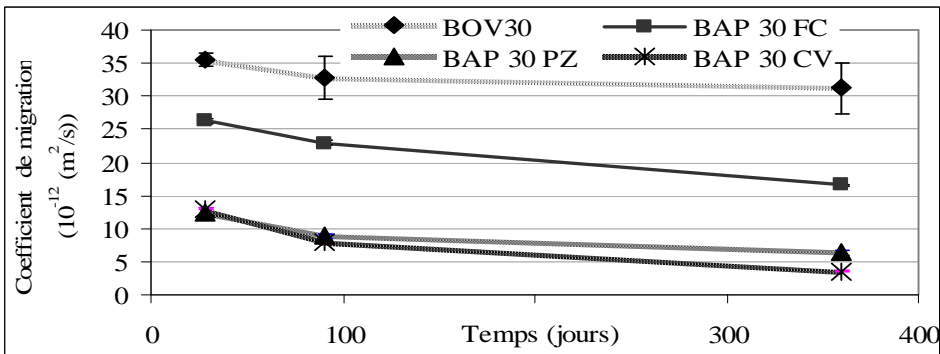


Fig. 3. Coefficient de diffusion apparent des bétons étudiés, après 360 jours de cure

Les résultats montrent que le  $D_{nssm}$  des bétons étudiés est en relation directe avec le rapport  $(E/L_{Equi})$  et le type d'addition minérale utilisée. Les bétons de classe 30MPa laissent passer une quantité de chlorures plus grande que les autres bétons de classes 50 et 70 MPa. Ce résultat est en accord avec les résultats d'autres chercheurs [1, 6]. Pour la même classe de résistance, la

comparaison entre les formulations étudiées permet de constater l'influence positive de l'incorporation de la pouzzolane naturelle ou de la cendre volante dans les BAP. Les BAP PZ et les BAP CV présentent des coefficients de diffusion nettement inférieurs à ceux des BAP FC et des BOV. La différence devient significative avec le temps de conservation. Selon Audenaert et al. [1], la diminution de  $D_{nssm}$  est très probablement liée à la distribution des pores et leurs tailles plus petites dans les BAP PZ et les BAP CV. Aussi, la réaction pouzzolanique de la pouzzolane naturelle et de la cendre volante engendre la formation de C-S-H pouzzolanique, qui comble une partie de la porosité capillaire et conduit à une diminution du coefficient de diffusion [5].

### 4.2 La perméabilité au Gaz

Le gaz utilisé dans cette étude est l'hélium. L'essai utilisé a été choisi selon les recommandations de RILEM TC 116-PCD [11]. Une pression d'entrée de 2,0 bars a été utilisée dans notre étude.

Les résultats des mesures du coefficient de perméabilité apparente au gaz sont présentés en fonction du temps de conservation sur les figures 4, 5 et 6.

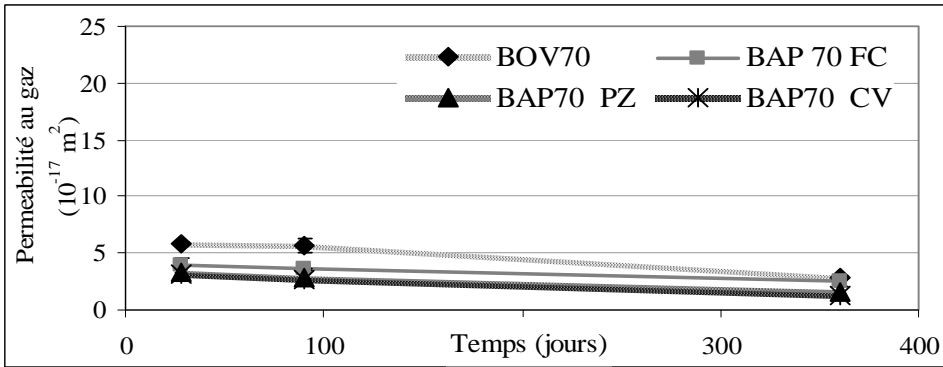


Fig. 4. Coefficient de perméabilité au gaz des bétons étudiés, après 28 jours de cure

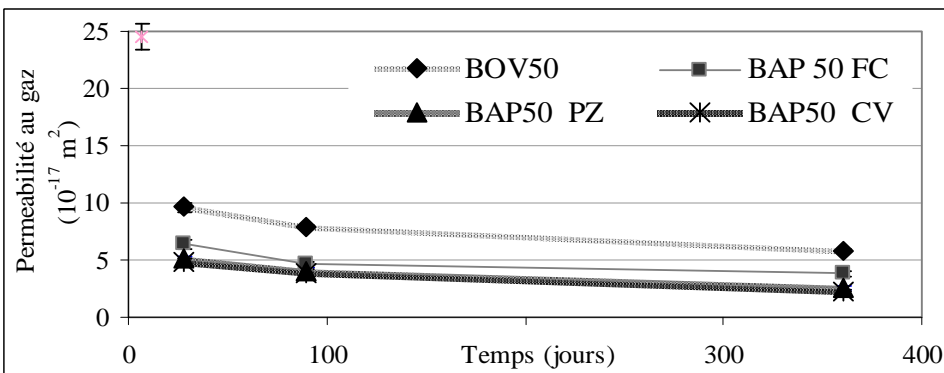


Fig. 5. Coefficient de perméabilité au gaz des bétons étudiés, après 90 jours de cure

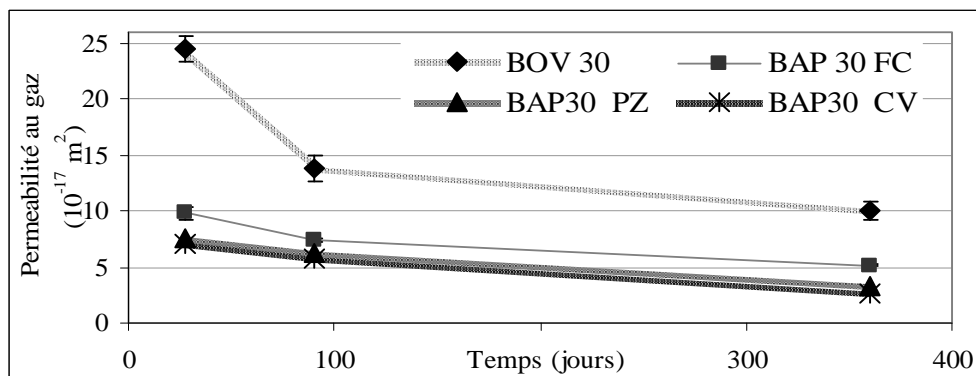


Fig. 6. Coefficient de perméabilité au gaz des bétons étudiés, après 360 jours de cure

La comparaison entre les résultats des différentes formulations du BAP montre des coefficients plus ou moins proches pour la même classe de résistance. Néanmoins, les formulations des BAP FC présentent une perméabilité légèrement supérieure par rapports à celles des BAP PZ ou des BAP CV. Cet effet peut s'expliquer là aussi par la porosité et sa distribution et en particulier dans l'auréole de transition (la zone qui se forme entre granulats et pâte de ciment), qui est généralement plus perméable que le reste de la matrice cimentaire. Son influence sur la perméabilité du béton dépend surtout du degré d'interconnexion de ces zones d'interface [2]. La réaction pouzzolanique dans les BAP PZ et les BAP CV a un effet positif sur la diminution de la porosité de la matrice et en particulier de cette zone de transition. La grande différence est remarquée pour les BOV. Les coefficients de BOV sont de l'ordre de 2 à 3 fois plus importantes que ceux des BAP pour la même classe. Cette différence de comportement est sûrement due au réseau poreux qui paraît plus fin pour les BAP comparé aux BOV.

#### 4.3 Relation entre le coefficient apparent de diffusion ( $D_{nssm}$ ) et la résistance à la compression (RC)

La figure 7 représente les coefficients de perméabilité au gaz en fonction des résistances à la compression des différents bétons.

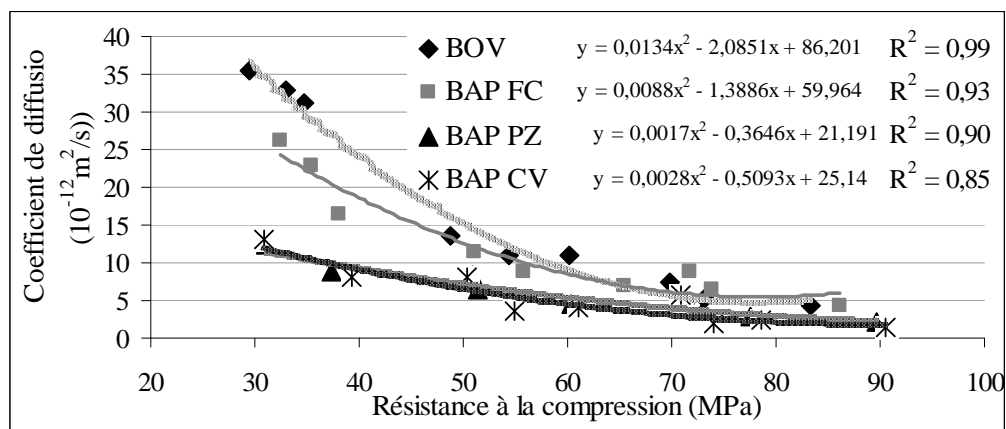


Fig. 7. Coefficients de diffusion des ions chlore en fonction de la résistance à la compression.

On constate à partir de la figure 7, que le coefficient de diffusion diminue avec l'augmentation de la résistance à la compression. Ceci confirme l'existence d'une relation étroite entre ces deux paramètres. En fonction du type d'addition minérale, on peut proposer des équations qui lient ces deux paramètres avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,99 pour le BOV, de 0,93 pour le BAP FC, de 0,90 pour le BAP PZ et de 0,85 pour le BAP CV. Les résultats montrent clairement que pour une même résistance à la compression, les bétons PZ et CV présentent de faibles coefficients de diffusion et certainement donc une meilleure durabilité.

Ce résultat peut être expliqué par le raffinement et la segmentation de la porosité capillaire engendrés par l'hydratation du ciment et de la réaction pouzzolanique de la pouzzolane naturelle et de la cendre volante [4, 3].

#### 4.4 Relation entre le coefficient de Perméabilité au gaz et la résistance à la compression

Selon Torrent et Jornet [9], quelque soit la composition du béton (rapport E/C, ajouts minéraux), la résistance à la compression semble un bon indicateur du niveau de perméabilité à l'air. Pour évaluer une probable relation entre ces deux paramètres, les résultats des coefficients de perméabilité au gaz sont présentés en fonction de la résistance à la compression sur la figure 8.

On peut observer à partir de cette figure qu'en général, la perméabilité décroît lorsque la résistance à la compression des BAP et de BOV croît. Les relations entre ses deux paramètres sont de type logarithmique avec des coefficients de corrélation de l'ordre de 0,92 pour le BOV, 0,80 pour le BAP FC, 0,92 pour le BAP PZ et 0,90 pour le BAP CV. Ces résultats montrent que pour une même résistance à la compression, les BAP présentent globalement de faibles valeurs de perméabilité

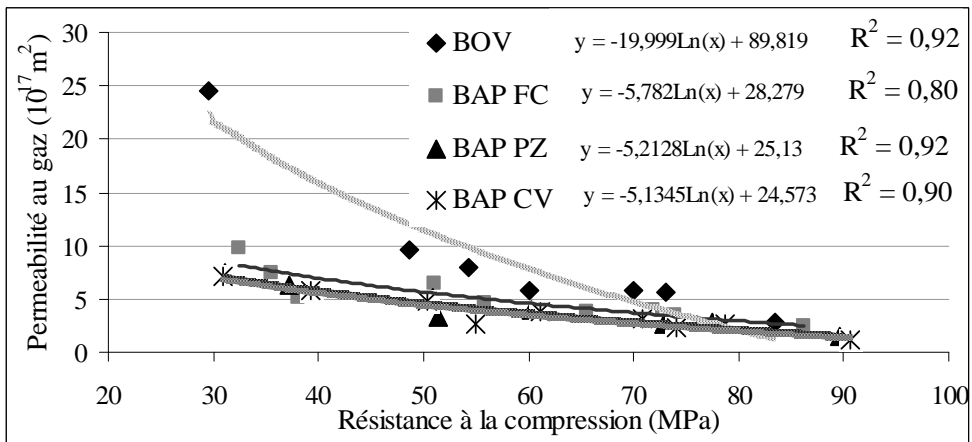


Fig. 8. Coefficients de perméabilité au gaz en fonction de la résistance à la compression

## 5 Conclusion

Les résultats expérimentaux de cette étude, nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- o Globalement, les BAP présentent des coefficients de diffusion et de perméabilité plus faibles que le béton ordinaire vibré. Le type d'addition minérale utilisée dans les formulations de BAP influe considérablement sur la diffusion et sur la perméabilité de ces bétons. Les BAP PZ présentent des coefficients de diffusion très proches de ceux du BAP CV et nettement inférieurs à ceux des BAP FC.

- L'incorporation de la pouzzolane naturelle dans les BAP semble être très bénéfique puisqu'elle réduit la diffusion et la perméabilité au gaz de ces bétons. Même avec des quantités très importantes de pouzzolane naturelle et des rapports élevés de  $E/L_{\text{équi}}$ , le BAP PZ montre une bonne résistance contre l'intrusion du gaz et des ions chlore.
- La résistance à la compression ( $R_c$ ) peut être un bon indicateur de la perméabilité au gaz et de la diffusion des ions chlore des BAP. Les coefficients de diffusion et de perméabilité diminuent avec l'augmentation de  $R_c$ . Des équations reliant ces coefficients à  $R_c$  sont proposées.

## Références

1. K. Audenaert, V. Boel, G. De Schutter, Chloride penetration in self compacting concrete by non steady state migration test, International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp. 818 – 825, 2003.
2. S. Assié, Durabilité des bétons autoplaçants, Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2004.
3. M. Ismail, Etude des transferts et de leurs interactions avec la cicatrisation dans les fissures pour prolonger la durée de service des infrastructures (ponts, centrales nucléaires), Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2006.
4. Nagataki et Ujike, Air permeability of concrete mixed with fly ash and condensed silica fume, ACI SP-91, 1986.
5. T. S. Nguyen, Influence de la nature du liant et de la température sur le transport des chlorures dans les matériaux cimentaires, Thèse de doctorat, INSA de Toulouse, 2006.
6. E. Roziere, Etude de la durabilité des bétons par une approche performantielle, Thèse de doctorat, l'Ecole Centrale de Nantes, 2007.
7. H. Siad, Influence du type d'addition minérale sur le comportement physico-mécanique et sur la durabilité des bétons autoplaçants, Thèse de doctorat, INSA de Rennes, 2010.
8. M. Tahlaiti, A. Hamami, P. Turcry, O. Amiri, A. Aït-Mokhtar, Influence of paste content on gaz permeability and microstructure of SCC, Proceeding de 5ème symposium international de RILEM, Self Compacting Concrete, volume 2, 2007.
9. R. J. Torrent, A. Jornet, The quality of the covercrete of low medium and high-strength concretes, Proceedings Second CANMET/ACI Int. Conf. Durability of Concrete, Canada, 1991.
10. Nordtest Method NT Build 492, Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, 1999.
11. RILEM TC 116-PCD., Permeability of concrete as a criterion of its durability Final report: Concrete durability - An approach towards performance testing, Materials and Structures, 32 (217), 163–173, 1999.