

Liège, Belgique
5 - 6 juillet 2004

ETUDE DE LA CONSOLIDATION DU BETON FRAIS SUR BASE DE LA POROSITE A L'ETAT DURCI

X. Willem, L. Courard, A. Darimont et R. Degeimbre
Département GeomaC, Unité de Recherche sur les Matériaux de Constructions, Université de Liège, Belgique.

RÉSUMÉ : La consolidation est le terme qui désigne la sédimentation des grains dans les suspensions très denses comme le béton. Le resserrement du squelette granulaire du béton frais entraîne une exsudation d'eau qui s'accumule à la surface de l'échantillon, formant la couche d'eau de ressuage. Cette migration de l'eau est à l'origine de nombreux défauts dans le béton qui mettent en péril sa durabilité. Le but de ce travail est de mettre en évidence l'existence d'une relation entre le ressuage et la porosité à l'état durci du béton.

1. INTRODUCTION

Des études sur la sédimentation et le ressuage des mélanges frais ont révélé la nature des défauts qui apparaissent dans les bétons. Ces phénomènes sont responsables de la qualité des parements, de fissuration par tassements différentiels, de la création de cavités sous les armatures, de l'apparition de canaux à travers le mélange de béton frais sous l'effet de vitesses de ressuage élevées.

Néanmoins, le ressuage peut contribuer à la protection du béton jeune (auto-cure) et la sédimentation des grains du mélange frais peut entraîner la réduction de la capillarité du béton durci (sur-consolidation).

La stabilité des mélanges joue également un rôle dans le comportement rhéologique du béton, notamment sur leur aptitude au pompage [Kaplan, 2001]. D'autres études ont montré que l'intensité du ressuage perturbait les prévisions des formules donnant la résistance en compression en fonction de la composition du mélange [Lecomte et al., 2001].

Le but de ce travail est de mettre en évidence l'existence d'une relation entre le ressuage et la porosité à l'état durci du béton. La démarche consiste à décrire l'évolution du mélange mis en place, puis à quantifier la distribution volumique des différentes phases du matériau au cours de son agglomération en se basant sur le modèle de Powers [Hansen, 1986].

2. SEDIMENTATION ET POROSITE

Il y a plusieurs dizaines d'années, Powers a décrit la sédimentation des bétons à l'état frais [Powers, 1968 et L'Hermite, 1979]. Le concept est illustré à la Figure 1.

Le béton qui vient d'être malaxé et mis en place est un mélange de particules en suspension (état initial dispersé noté i) si la quantité d'eau de gâchage est suffisante pour disperser le squelette solide. Mais cette suspension est instable. Les particules solides, plus denses que l'eau qui les entoure, sont soumises à la gravité qui tend à réduire leurs distances relatives, principalement dans le sens vertical. Le tassement du squelette granulaire tend à chasser l'eau excédentaire qui apparaît en surface, formant la couche d'eau de ressuage. La sédimentation du mélange est donc contrôlée par le transfert de l'eau qui dépend de la perméabilité de l'arrangement granulaire.

A la sédimentation des particules solides s'opposent des forces électrostatiques de répulsion qui proviennent des couches adsorbées à la surface des grains : le tassement tend vers un état d'équilibre (noté 0'). La sédimentation conduit donc à un arrangement granulaire qui constitue la base à partir de laquelle l'hydratation des grains de ciment par l'eau restant dans les espaces intergranulaires, lie l'agglomérat. En particulier, la porosité du béton est la résultante après hydratation des espaces intergranulaires configurés par la sédimentation.

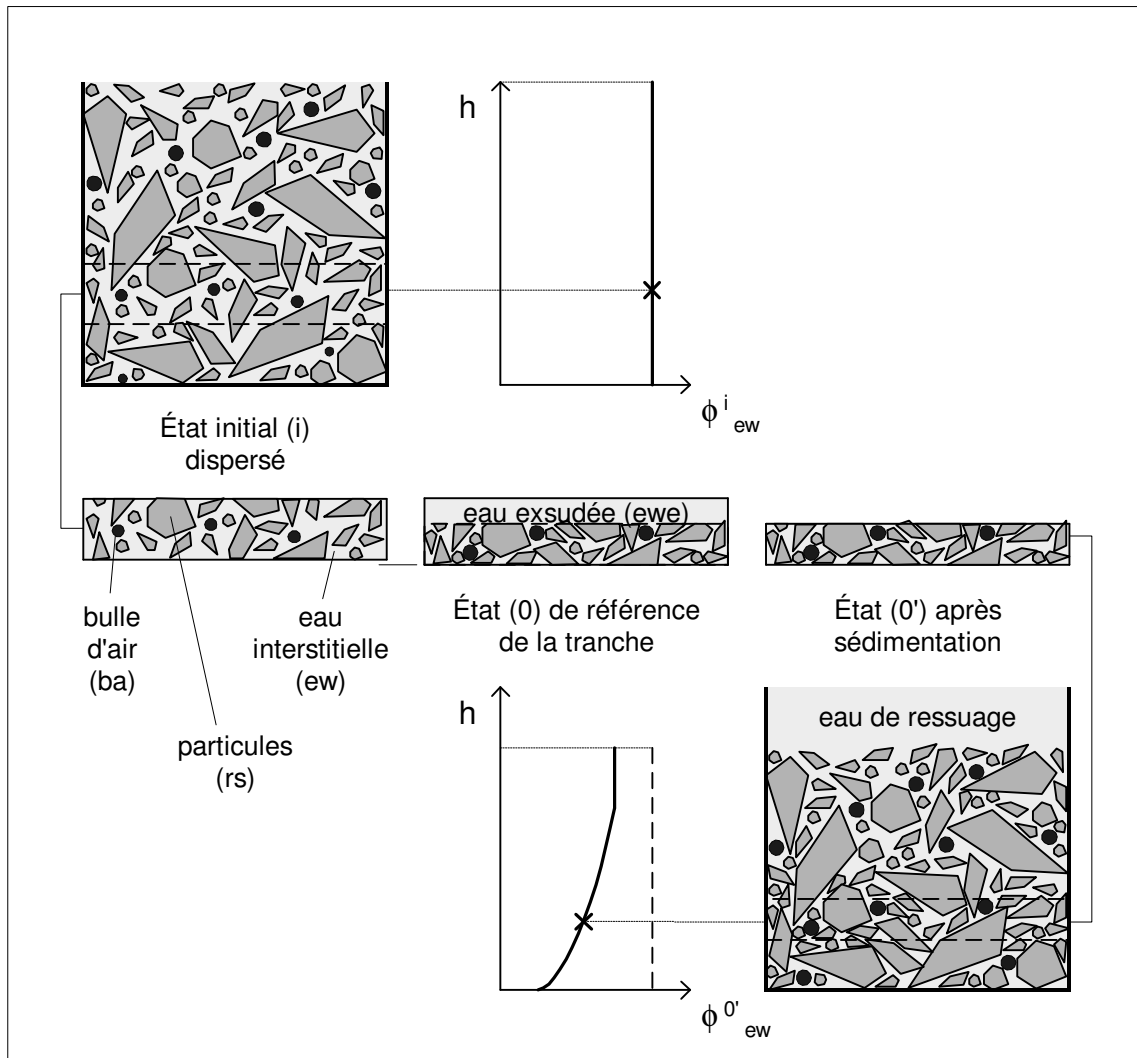


Figure 1 – Illustration du concept de sédimentation des mélanges granulaires suspendus.

La distribution volumique des phases est exprimée à l'aide des volumes partiels. Le volume partiel d'une phase, noté ϕ_{phase} , est la proportion du volume total considéré occupé par cette phase. Par définition, le bilan volumique s'écrit :

$$\sum \phi_{\text{phase}} = 1 \quad (1)$$

Dans le mélange granulaire dispersé (état i), les volumes partiels des bulles d'air (ϕ_{ba}^i), des particules (ciment anhydre ϕ_{ac}^i et agrégats ϕ_{rg}^i) et de l'eau dans les espaces intergranulaires (ϕ_{ew}^i) sont constants sur toute la hauteur de l'échantillon.

Puisque l'intensité du tassement peut être variable sur la hauteur de l'échantillon [Powers, 1968], l'eau exsudée hors d'une couche de l'échantillon initial peut également varier en fonction de sa position. Le volume de chaque couche est réduit du volume d'eau qui en est chassé. Dans l'arrangement granulaire après sédimentation (état 0'), les volumes partiels des phases dans une couche sont donc différents des valeurs initiales, et cette différence peut varier en fonction de la hauteur.

Pour matérialiser la sédimentation dans chaque couche, un état de référence 0 est défini. Dans cet état 0, le volume de la couche est conservé à la détente des bulles d'air (ϕ_{dba}^i) près, et l'eau exsudée (ϕ_{ewe}^0) s'est séparée de l'eau intergranulaire restante. Seule l'eau intergranulaire restante participe à la dispersion des grains de ciment (ϕ_{ac}^0) et constitue la porosité capillaire avant hydratation (ϕ_{cw}^0).

Si le mélange granulaire ne subit pas de ségrégation, les volumes partiels des phases à l'état 0 sont donnés par :

$$\phi_{\text{phase}}^0 = \frac{1}{1 + \phi_{\text{dba}}^i} \phi_{\text{phase}}^i \quad (2)$$

et

$$\phi_{\text{cw}}^0 = \phi_{\text{ew}}^0 - \phi_{\text{ewe}}^0 \quad (3)$$

La détente des bulles d'air soumises à une décompression pendant la sédimentation dépend, en première approximation, de la teneur en air et de la hauteur de béton au-dessus de la couche considérée [Josserand, 2002].

Powers a avancé un modèle simplifié de la structure de la pâte de ciment Portland basé sur des isothermes d'adsorption de vapeur d'eau [Hansen, 1986]. A chaque stade de l'hydratation, la pâte durcie est constituée d'hydrates cristallisés (C-S-H) regroupés en un gel très poreux, de cristaux de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, de quelques composés mineurs, de ciment anhydre et d'espaces résiduels remplis d'eau dans la pâte plastique. Ces vides sont appelés pores capillaires, auxquels s'ajoutent les vides du gel appelés pores de gel [Neville, 1995]. Dans le modèle de Powers, l'ensemble des produits solides de l'hydratation sont regroupés en une seule phase. L'eau est divisée en trois états différents. Elle peut être chimiquement liée (eau non-évaporable), physiquement adsorbée à la surface des hydrates cristallisés qui forment le gel, ou libre dans les pores capillaires. La somme de l'eau physiquement adsorbée et de l'eau libre est appelée eau évaporable. Les relations suivantes [Jensen et al 2001] donnent les fractions volumiques des phases (en m^3/m^3 de pâte de ciment) dans une pâte de ciment Portland dé-aérée, à chaque stade de l'avancement de l'hydratation :

$$V_{\text{cc}}^h = \Delta V_c \alpha \rho_c V_{\text{ac}}^0 \quad (\text{cc} = \text{contraction chimique}) \quad (4)$$

$$V_{\text{cw}}^h = V_{\text{cw}}^0 - \frac{W_{\text{pb}} + W_{\text{cb}}}{\rho_w} \alpha \rho_c V_{\text{ac}}^0 \quad (\text{cw} = \text{eau capillaire}) \quad (5)$$

$$V_{\text{hw}}^h = \frac{W_{\text{pb}}}{\rho_w} \alpha \rho_c V_{\text{ac}}^0 \quad (\text{hw} = \text{eau adsorbée dans le gel}) \quad (6)$$

$$V_{\text{hs}}^h = \alpha V_{\text{ac}}^0 + \left(\frac{W_{\text{cb}}}{\rho_w} - \Delta V_c \right) \alpha \rho_c V_{\text{ac}}^0 \quad (\text{hs} = \text{produits d'hydratation}) \quad (7)$$

$$V_{\text{ac}}^h = (1 - \alpha) V_{\text{ac}}^0 \quad (\text{ac} = \text{ciment anhydre}) \quad (8)$$

où - V_{ac}^0 et V_{cw}^0 sont les fractions volumiques initiales du ciment anhydre et de l'eau capillaire,
- V_{phase}^h sont les fractions volumiques des phases dans la pâte durcie,

- α est le degré d'hydratation (kg de ciment ayant réagi / kg de ciment initial),
- ρ_c et ρ_w sont les masses volumiques du ciment anhydre et de l'eau, respectivement (kg/m^3),
- W_{cb} est la masse d'eau fixée chimiquement par l'hydratation d'1 kg de ciment anhydre (kg/kg de ciment anhydre) ;
- W_{pb} est la masse d'eau adsorbée à la surface des hydrates formés lors de l'hydratation d'1 kg de ciment anhydre (kg/kg de ciment anhydre) ;
- ΔV_c est la contraction volumique ("Le Chatelier") lors de l'hydratation d'1kg de ciment anhydre (m^3/kg de ciment anhydre).

Sur la base de l'étude de nombreux ciments Portland, Powers a avancé des valeurs aux grandeurs qui caractérisent la structure du gel. Pour 1 kg de ciment anhydre ayant réagi, les valeurs habituellement rencontrées sont $W_{cb} = 0,23 \text{ kg}$; $W_{pb} = 0,19 \text{ kg}$ et $\Delta V_c = 64 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ [Jensen et al 2001].

Les fractions volumiques initiales de ciment anhydre et de l'eau capillaire dans la pâte de ciment dé-aérée extraite de la couche de béton sont données par la relation :

$$V_{ac}^0 = \frac{1}{(\phi_{ac}^0 + \phi_{cw}^0)} \phi_{ac}^0 \quad \text{et} \quad V_{cw}^0 = \frac{1}{(\phi_{ac}^0 + \phi_{cw}^0)} \phi_{cw}^0 \quad (9 \text{ et } 10)$$

L'état h' correspond à l'agglomérat constitué à partir de l'arrangement granulaire laissé par la sédimentation. Les volumes partiels dans une tranche de béton sont donnés par la relation :

$$\phi_{\text{phase}}^{h'} = \frac{1}{1 - \phi_{ewe}^0} V_{\text{phase}}^h \quad (\text{phase} = \text{rg, ba, dba}) \quad (11)$$

et

$$\phi_{\text{phase}}^{h'} = \frac{\phi_{ac}^0 + \phi_{cw}^0}{1 - \phi_{ewe}^0} V_{\text{phase}}^h \quad (\text{phase} = \text{cc, cw, hw, hs, ac}) \quad (12)$$

La proportion ϵ_{calc} de la tranche de béton saturé occupée par l'eau évaporable est donnée par l'équation :

$$\epsilon_{\text{calc}} = 100 \times (\phi_{\text{pores de gel}}^{h'} + \phi_{\text{capillaires}}^{h'}) = 100 \times (\phi_{hw}^{h'} + \phi_{cw}^{h'} + \phi_{cc}^{h'}) \quad [\%] \quad (13)$$

3. ESSAIS

Le ciment utilisé est un ciment Portland industriel de type CEM I 42,5R dont la composition chimique est donnée au Tableau 1. Sa résistance caractéristique en compression (EN 196-1) est de 54 MPa, et sa surface spécifique Blaine est de 3400 cm^2/g .

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ Oéq	Perte au feu	Résidu insoluble
20,2	4,6	3,7	63,5	2,3	2,3	0,76	1,9	0,7

Tableau 1 – Composition chimique du ciment (en %).

Les dosages en ciment et en eau sont les paramètres de composition qui influencent à la fois le ressuage et l'hydratation des bétons. Le dosage en ciment est le paramètre variable retenu dans le but d'étudier le dosage optimal en ciment de bétons ordinaires à base de granulats calcaires concassés. Sept compositions de béton sont établies avec des dosages croissants en ciment et un dosage constant en eau (Tableau 2). Les proportions des différents agrégats sont optimisées à l'aide du Modèle d'Empilement Compressible [de Larrard, 1999] pour maximiser la compacité ϕ_{CPM} de l'empilement granulaire. La compacité ϕ_{CPM} est le volume partiel des particules solides dans l'arrangement qui correspond au serrage technologique le plus efficace. D'après le modèle, le mélange granulaire optimum correspond au béton C195, et la compacité des mélanges granulaires optimisés diminue avec le dosage en ciment. Globalement, l'accroissement de la proportion de ciment est compensé par la diminution de la proportion du sable fin, la structure du reste du squelette granulaire étant approximativement conservée.

Une gâchée de béton est réalisée par composition. Le ressuage du béton est déterminé par la méthode à la pipette (NBN B14-205). L'eau accumulée à la surface de l'échantillon est prélevée à intervalle de temps régulier à l'aide d'une pipette, pesée, puis replacée sur l'échantillon jusqu'à la prochaine échéance. La taille de l'échantillon prévu pour des mortiers est adaptée. Un échantillon de béton de 200 mm de hauteur est serré par vibration dans un moule cylindrique ($\varnothing 160 \times H320$ mm).

Le béton est mis en place dans deux moules cylindriques ($\varnothing 160 \times H320$ mm) et serré sur une table vibrante pendant 15 secondes. La masse volumique expérimentale est calculée pour chaque échantillon. La teneur en air des échantillons moulés est déduite de la formule :

$$a = 100 \frac{MV_{th} - MV_{exp}}{MV_{th}} \quad (14)$$

où MV_{th} est la masse volumique théorique du béton déterminée à partir de sa composition donnée dans le Tableau 2.

[kg/m ³ de béton]	C195	C300	C325	C350	C375	C400	C425
CEM I 42,5 R HES	195	300	325	350	375	400	425
Sable rond 0/0,400	213	178	162	146	128	110	93
Concassé calcaire 0/2,5	662	710	711	713	716	719	722
Concassé calcaire 4/7	120	133	134	136	137	138	140
Concassé calcaire 7/14	179	197	194	192	189	187	186
Concassé calcaire 14/20	819	687	681	675	670	664	657
EAU	200	200	200	200	200	200	200
E/C	1,02	0,67	0,62	0,57	0,53	0,50	0,47
ϕ_{CPM}	0,861	0,857	0,855	0,852	0,849	0,846	0,842

Tableau 2 – Compositions des bétons et caractéristiques des mélanges granulaires.

Après un jour de cure, les échantillons sont conservés sous eau à 20°C jusqu'à l'âge de 28 jours. Chaque cylindre est alors scié en deux dans le sens de la hauteur, et une des moitiés est séparée en deux quartiers. Un des quartiers est scié en tranches tous les 20 mm à partir de la base. Les tranches sont directement placées dans l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante M_{sec} . Ensuite, elles sont saturées sous vide, puis pesées sous eau M_{sat}^d et à l'air M_{sat} .

La porosité ϵ_{mes} est la proportion, exprimée en pourcent, du volume de béton durci saturé en eau V_{app} qui est occupée par l'eau évaporable.

$$\epsilon_{mes} = 100 \frac{M_{sat} - M_{sec}}{V_{app}} = 100 \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sat} - M_{sat}^d} \quad (15)$$

4. RESULTATS

Le ressuage est exprimé par une hauteur correspondant au volume d'eau ressuée par unité de surface. Dans les premiers temps, la hauteur d'eau de ressuage augmente linéairement avec le temps, puis se stabilise avant de diminuer. Les premières mesures permettent de définir une vitesse initiale de ressuage [L'Hermite, 1979]. La perméabilité des mélanges granulaires diminue quand leur surface spécifique augmente [Carman, 1937]. Accroître la quantité d'éléments fins (ciment) réduit donc la vitesse initiale de ressuage. Les résultats présentés à la Figure 2 suivent cette tendance. L'affaissement au cône d'Abrams augmente avec le dosage en ciment (Figure 2). Mais trop de ciment fait chuter les valeurs d'affaissement. Pour le dosage en eau choisi, le dosage optimum en ciment est situé entre 325 et 375 kg/m³ de béton. L'existence d'un optimum indique généralement la compétition

entre deux phénomènes antagonistes. D'une part, l'apport du ciment sert à retenir l'eau injectée dans le squelette granulaire pour stabiliser la dispersion des grains et maintenir l'effet lubrifiant de l'eau durant l'écoulement [Joisel, 1952]. D'autre part, l'excès de ciment diminue la compacité du mélange granulaire, ce qui réduit la dispersion des grains à égal dosage en eau et donc neutralise l'effet lubrifiant de l'eau.

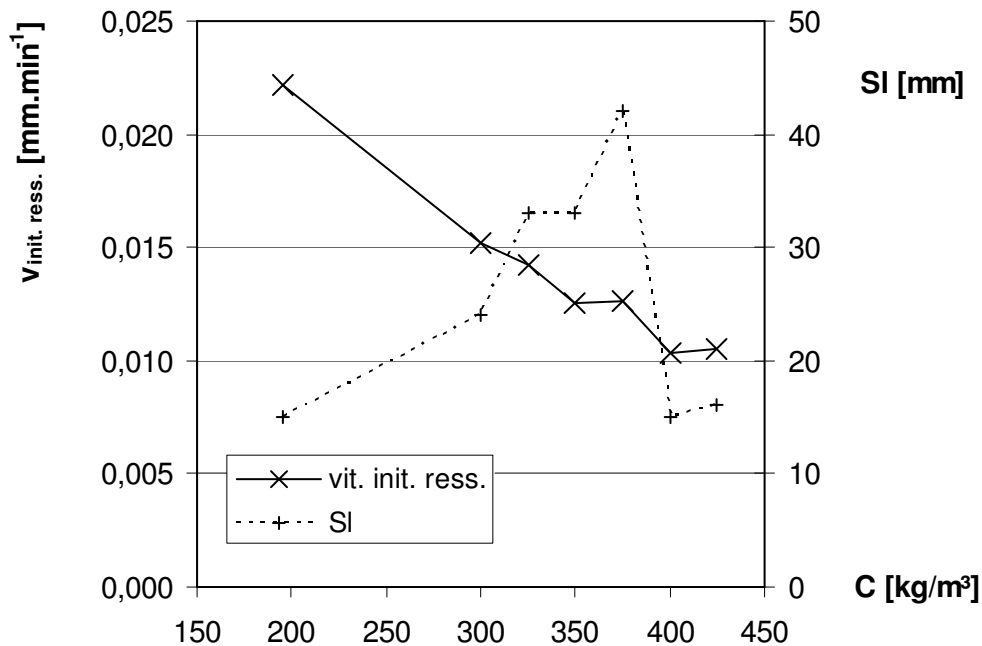


Figure 2 – Évolution de la vitesse initiale de ressuage et de l'affaissement au cône d'Abrams en fonction du dosage en ciment des bétons.

La hauteur maximale d'eau de ressuage est appelée capacité de ressuage. Dans ce travail, la quantité maximale d'eau de ressuage sera donnée par un volume partiel $\phi_{\text{ress.max.}}$ exprimé par rapport au volume initial de l'échantillon. La capacité de ressuage ne donne qu'une indication globale de la sédimentation du mélange granulaire. La quantité d'eau exsudée (ϕ_{ewe}^0) hors de chaque couche de l'échantillon mis en place doit donc être déterminée de manière indirecte. Sa valeur est choisie pour que la valeur calculée de la porosité (équation 13) corresponde à la valeur déterminée expérimentalement (équation 15). Le Tableau 3 indique les volumes partiels des phases présentes dans le béton frais mis en place.

	C195	C300	C325	C350	C375	C400	C425
ϕ_{ba}^i	0	0,001	0,002	0,004	0,001	0,005	0,005
ϕ_{ac}^i	0,063	0,096	0,104	0,112	0,120	0,128	0,136
ϕ_{rg}^i	0,737	0,704	0,694	0,685	0,680	0,668	0,661
ϕ_{ew}^i	0,200	0,200	0,199	0,199	0,200	0,199	0,199
E/C	1,02	0,67	0,62	0,57	0,53	0,50	0,47
α	0,87	0,8	0,78	0,75	0,75	0,74	0,73
$\epsilon_{\text{calc}} [\%]$	17,1	16,1	15,7	15,5	15,4	15,0	14,8

Tableau 3 – Distribution volumétrique des phases dans les bétons juste après serrage (état initial) et estimation de leur porosité en négligeant le processus de sédimentation (α donné par la formule de Mill).

La formule de Mill [Audenaert et al., 2004] donne la valeur ultime du degré d'hydratation dans le cas d'un ciment Portland :

$$\alpha_{\text{ultim}} = \frac{1,031 \frac{E}{C}}{0,194 + \frac{E}{C}} \quad (16)$$

Le degré d'hydratation du ciment dans les bétons âgés de 28 jours ne doit pas dépasser, en théorie, les prévisions de l'équation 16. La porosité ϵ_{calc} calculée en négligeant le processus de sédimentation est la valeur limite supérieure (Tableau 3).

A la Figure 3, la porosité mesurée sur les tranches est représentée en correspondance de la position de la tranche dans les échantillons du béton C300. La valeur limite calculée est indiquée par une droite en pointillés. Les tranches en base ont une porosité faible qui augmente avec la hauteur jusqu'au premier tiers. A ce niveau la valeur mesurée dépasse la valeur limite estimée. Au-dessus, la porosité décroît quand les tranches se rapprochent de la surface. Cependant, la tranche supérieure a une porosité beaucoup plus élevée qui dépasse largement la limite calculée à partir de la composition (voir Figure 4). Ces résultats peuvent s'expliquer par un phénomène induit par le ressuage qui n'est pas pris en compte dans le calcul. L'eau exsudée entraîne souvent de fines particules (de ciment) qui forment après durcissement, une couche superficielle très poreuse [L'Hermite, 1979]. De plus, le squelette granulaire filtre la remontée de cette suspension, surtout à la partie supérieure qui se charge en fines particules de ciment. L'appauvrissement en ciment de la partie inférieure entraîne l'accroissement de la porosité. Dans la partie supérieure se déroule l'effet inverse.

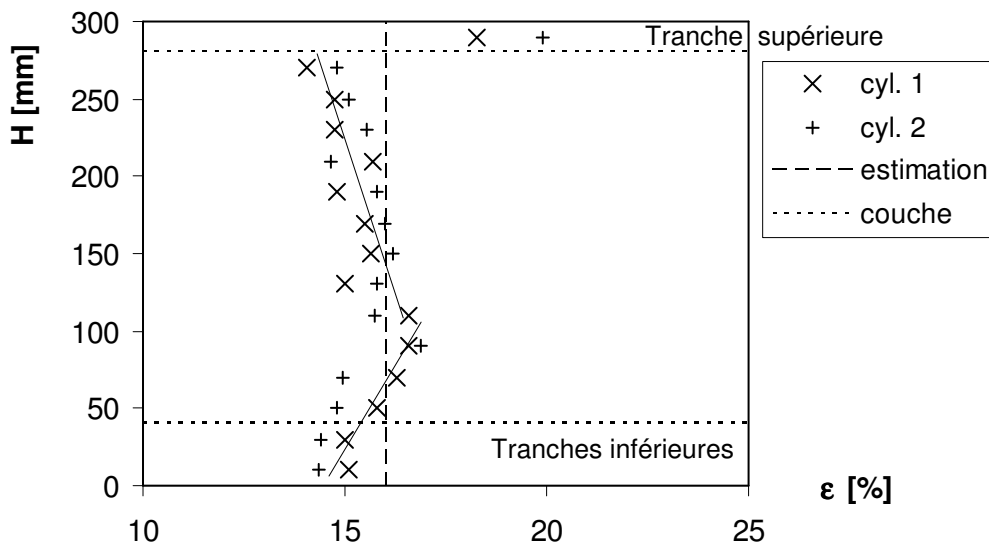


Figure 3 - Distribution de la porosité mesurée sur la hauteur des échantillons du béton C300.

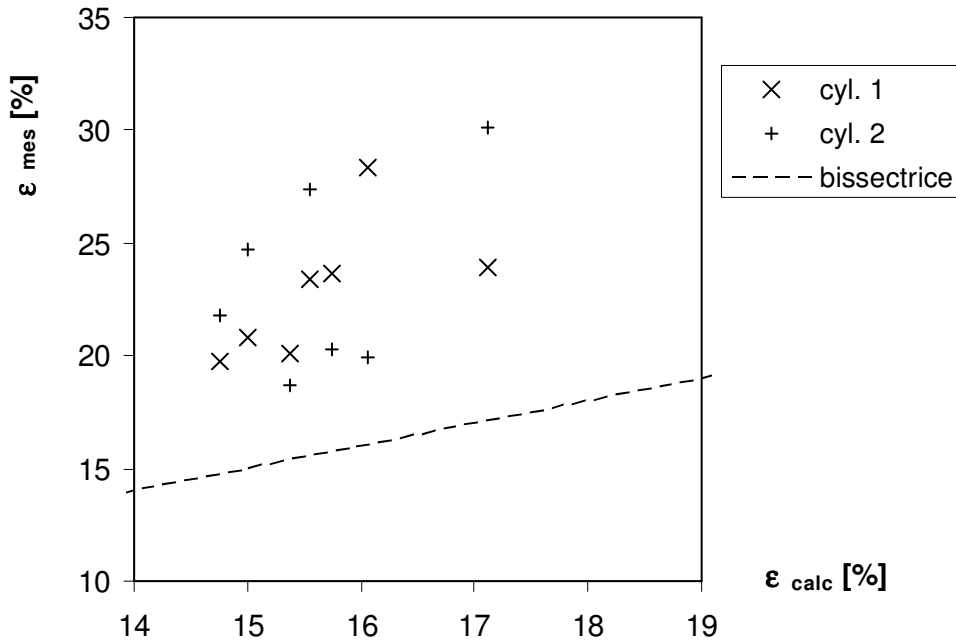


Figure 4 – Ecart entre la porosité de la couche supérieure des échantillons de béton et la porosité limite calculée en négligeant le processus de sédimentation.

La surestimation du volume partiel de ciment dans calcul conduit à sous-estimer l'eau exsudée. Comme l'évaluation globale de la quantité d'eau exsudée ne peut prendre en compte la migration d'une partie du ciment, la capacité de ressuage est comparée à l'estimation portant uniquement sur la partie inférieure de l'échantillon (les 40 mm en base). L'estimation de l'eau exsudée est représentée sur la Figure 5 par un segment de droite limité par les valeurs extrêmes déduites des mesures de porosité effectuées sur les deux échantillons. L'eau exsudée est exprimée par rapport au volume initial du béton à l'aide de l'équation 2 pour les besoins de la comparaison. Une correspondance apparaît entre l'évolution en fonction du dosage en ciment, de la capacité de ressuage et de l'estimation du volume d'eau exsudée.

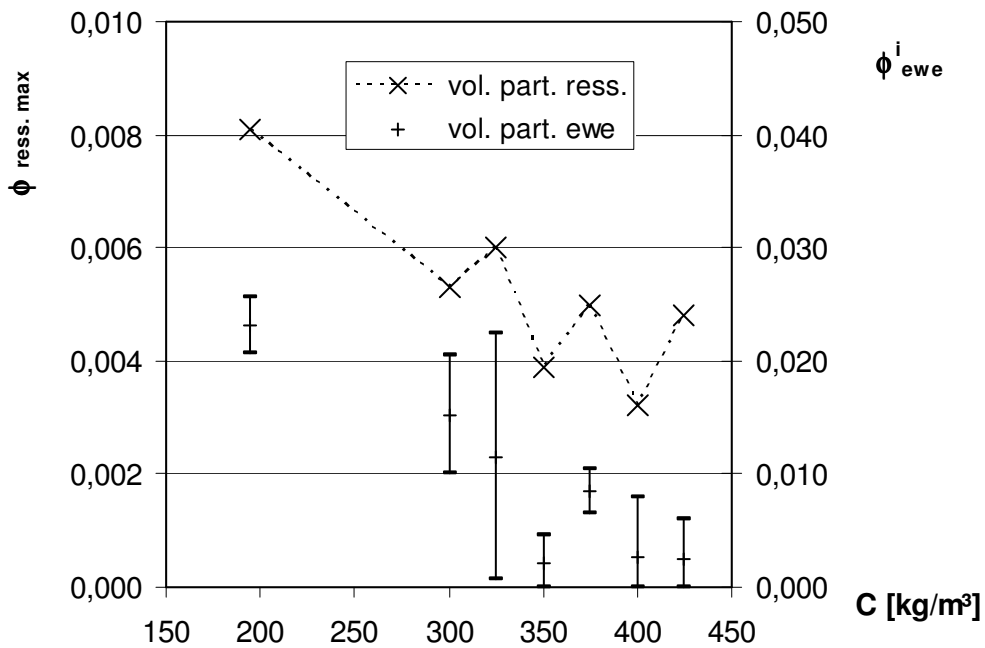


Figure 5 – Correspondance entre la quantité d'eau de ressuage mesurée sur un échantillon de 200 mm de hauteur et l'estimation de la quantité globale d'eau exsudée d'un échantillon de 320 mm de hauteur.

5. CONCLUSIONS

L'écoulement d'un béton est lié à la dispersion de ses grains. Il existe un dosage optimum en ciment qui résulte de la compétition limitée à la compacité de l'arrangement granulaire (degré initial de dispersion des grains) et sa contribution à la rétention de l'eau (tenue de la dispersion dans le temps).

La sédimentation du mélange granulaire conduit à un arrangement qui constitue la base à partir de laquelle l'hydratation des grains de ciment avec l'eau restante dans les espaces intergranulaires, lie l'agglomérat. L'application du modèle simplifié de Powers permet d'estimer l'évolution de la distribution des phases dans cet agglomérat au cours de l'hydratation.

L'application du modèle est fortement limitée par l'incertitude sur la distribution du ciment à la fin de la sédimentation, suite à la non prise en compte de la migration des fines particules de ciment entraînées par l'eau exsudée.

Malgré les limitations du modèle, l'estimation de la quantité d'eau exsudée hors d'une couche de béton apporte une information qualitative sur la stabilité des mélanges granulaires à l'état frais, qui directement reliée à la porosité du matériau durci.

Cette information devrait apporter une meilleure compréhension du rôle joué par le squelette granulaire dans l'établissement des propriétés des bétons à l'état frais comme à l'état durci.

6. REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche est supporté financièrement par le Gouvernement de la Région Wallonne de Belgique, sous la Convention RW9813808. Les auteurs remercient les membres du Laboratoire des Matériaux de Construction de l'Université de Liège pour leur assistance dans la réalisation des essais.

7. REFERENCES

- Audenaert, K. and De Schutter, G. (2004) Water permeability of self compacting concrete, *International Symposium on Advances In Concrete Through Science and Engineering*, Evanston, Illinois, USA.
- Carman, P.C. (1937) Fluid flow through a granular bed, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 15:150-167.
- de Larrard, F. (1999) *Concrete mixture proportioning. A scientific approach*, Modern Concrete Technologie Series, 9, S. Mindess and A. Bentur, editors, E. & FN. SPON, London.
- Hansen, T. C.(1986) Physical structure of hardened cement paste. A classical approach, *Materials and Structures*, 114: 423-436.
- Jensen, O.M. and Hansen, P.F.(2001) Water-entrained cement-based materials. I. Principles and theoretical background, *Cement and Concrete Research*, 31: 647-654.
- Joisel, A. (1952), Composition des bétons hydrauliques. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, série : béton armé XXI*, 58 :991-1063.
- Josserand, .L (2002) Ressuage des bétons hydrauliques, Thèse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.
- Kaplan, D. (2001) Pompage des bétons, *Études et recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées*, OA 36.
- Lecomte, A., de Larrard, F. et Mechling, J.M. (2001), Résistance à la compression de bétons hydrauliques au squelette granulaire non optimisé, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 234 :89-105.
- L'Hermite, R. (1979) Expériences et théories sur la technologie du béton. Deuxième partie – Déformation du béton sans charge (retrait et gonflement), *Annales de l'ITBTP*, 375 : 15-38.
- Neville, A.M. (1995) *Properties of concrete*, 4^e éd., Addison Wesley Longman Ltd, England.
- Powers, T.C. (1968) *The properties of fresh concrete*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.