

LE BETON DE SABLE UN MATERIAU NON FISSURANT

Par

A. BENAÏSSA

Assistant - Chercheur, L.R.P.C. de Bordeaux,

P. MORLIER

Professeur, Université des Sciences de Bordeaux

et

V. TRAM

Professeur, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran

Résumé

L'observation de fragments durcis du béton de sable au microscope électronique à balayage (MEB) permet de décrire le matériau comme étant peu fissurant avec une bonne homogénéité d'ensemble et une bonne adhérence pâte de ciment-grains de sable. Ce caractère peu fissurant est confirmé par la cinétique de séchage très uniforme entre le front périphérique et le cœur d'une éprouvette. En effet cette uniformité de séchage entraîne de faibles gradients hydriques et donc de faibles contraintes de traction en surface et par conséquent une faible densité de fissuration. L'évolution de la déformation de retrait de séchage en fonction du taux de séchage montre une parfaite linéarité prouvant ainsi l'absence de fissures notables.

Mots clés : béton de sable - porosité - gammadensimétrie - fissuration - dessiccation - séchage - MEB - taux de séchage.

une énergie de mise en place moins onéreuse, sa petite granularité autorise son utilisation dans les structures fortement armées et son bel aspect de surface permet de se passer du crépissage traditionnel d'où un certain gain en ciment, eau, main-d'oeuvre et peinture.

Le béton de sable, grâce à des résistances appréciables, 12 à 60 MPa, rend son usage dans la fabrication des éléments de remplissage (briques, parpaings, hourdis, etc...) tout à fait possible et préférable au béton ordinaire. Le domaine routier peut aussi constituer un lieu privilégié de l'utilisation de ce matériau ainsi que les reprises en sous oeuvre. L'autre intérêt de ce matériau pour un pays comme l'Algérie est l'emploi de fillers industriels (phosphogypse, fibres de verre, fibres métalliques, etc...) pour augmenter la compacité du béton sable. L'absorption de ces déchets industriels procure non seulement un intérêt économique mais aussi un intérêt du point de vue écologique.

1 INTRODUCTION

En France, le béton de sable trouve ses origines dans "le béton aggloméré" confectionné par F. Coignet dans le 3ème quart du XIX siècle. Ce matériau était alors constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement à Passy et la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour Port-Saïd en Egypte (hauteur : 52 m) et du pont de New-York [1].

Les premières tentatives de correction granulaires restent l'apanage de F. Coignet qui, pour les besoins de réalisation de certaines parties de l'aqueduc de Vanne construit entre 1869 et 1872, mélangea un sable fin traditionnel à un sable non utilisé à l'époque car jugé impropre à

0 PREAMBULE

Le béton de sable est un matériau confectionné à partir de sable, de ciment, d'eau et de fillers naturels ou industriels. Dans un pays comme l'Algérie de plus de deux millions de Km² avec un désert très vaste occupant l'essentiel de la superficie, les prix de revient du transport de pierres ou de granulats sur des centaines de kilomètres, reviennent très cher. Or justement le sud algérien est très riche en sable de différentes granulométries ainsi que des fines naturelles (Laghouat, Ouargla, etc...).

Ce nouveau matériau peut par conséquent remplacer le béton traditionnel pour des raisons économiques que nous venons de voir mais aussi pour les qualités qui lui sont spécifiques. En effet sa bonne maniabilité implique

la construction.

A vrai dire, cette technique a été mise au point depuis des décennies, en ex-URSS, en témoignent les réalisations du pont de Kaliningrad au début du siècle et du pont de Chernavskif [2].

Cette technique fut reprise plus tard, à la fin du second conflit mondial, par le professeur Rebinder qui permit l'utilisation de ce matériau dans de nombreux domaines (chaussées, pistes d'aviation, éléments de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, etc...).

En effet sous l'impulsion de cet académicien, les Soviétiques procédèrent à certains essais technologiques sur les bétons de sable en s'appuyant dans leurs travaux, notamment, sur les paramètres de granulométrie, de finesse des liants, des réducteurs d'eau et les modes de vibration. Par la suite, ce matériau est tombé en désuétude en raison des grandes résistances mécaniques obtenues par l'emploi de gros agrégats, mais la pénurie de gros granulats alluvionnaires et la disponibilité de gros gisements de sable poussèrent à étudier un matériau fait de sable et de ciment pour remplacer le béton ordinaire dans certains domaines (briques, parpaings, hourdis, structures peu sollicitées, etc...).

Le projet "SABLOCRETE" (association pour la promotion et le développement du béton de sable) tend, entre autre, à optimiser l'exploitation des gisements de sable, c'est-à-dire à rationaliser l'utilisation du sable et des granulats.

A ce jour, la préoccupation majeure en matière de recherche sur le béton de sable était orientée vers la formulation de celui-ci afin d'obtenir une bonne maniabilité et de bonnes performances mécaniques. Néanmoins une meilleure approche du matériau, implique la connaissance de la microstructure, notamment le caractère vis-à-vis de la fissuration, objet de la présente étude.

2 BETON D'ESSAI

2.1 Composition

Les matériaux composants notre béton ainsi que les fractions de chacun d'eux sont présentés dans le tableau 1.

ELEMENTS	Sable de Garome roulé-silicieux (kg)	Ciment CPI 45 R PM Usine de Couronne (kg)	Filler MEAC Usine Tour Blanche (kg)	Super-plastifiant (l)	EAU (l)
BETON DE SABLE	1 500	350	200	7	190

Tableau 1 : Composition du béton de sable (pour 1 m³)

2.2 Caractéristiques mécaniques

L'essai de compression a été réalisé conformément à la norme NFP 18-406. L'essai de traction a été réalisé

conformément à la norme NFP 18-400. La mesure du module élastique a été opérée sur extensomètre à cylindre et conduite conformément au projet du processus d'essai L.P.C-Oct 89. Les valeurs des différentes mesures sont consignées dans le tableau 2, chaque valeur est la moyenne de trois mesures.

SOLLICITATIONS	AGE (jours)				
	3	7	14	28	90
RC (MPa)	11	17	21,5	23,6	28,8
Rt (MPa)	1,24	1,97	2,24	2,36	2,53
E (MPa)	17 000	19 700	-	23 000	23 000

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques du béton de sable

2.3 Principe de formulation

Le béton de sable, à la différence des mortiers, utilise un dosage en ciment proche des bétons ordinaires (300 à 400 Kg/m³). Ce qui distingue le béton de sable du béton ordinaire réside essentiellement en l'emploi de granulats de faible diamètre ($\phi \leq 5$ mm), une adjonction de gros granulats est cependant possible mais dans un rapport massique G/S inférieur à 1. Les dosages en ciment ont été possibles grâce au remplissage des vides du sable par un filler calcaire (0/80 μ m), ceci a pour conséquence favorable d'augmenter la compacité par création d'une étendue granulaire continue. Les fillers utilisés, en général, sont de nature calcaire grâce à leur grande réactivité avec les hydrates. La grande surface spécifique obtenue par l'emploi d'une grande fraction de particules fines nécessite un mouillage important d'où l'utilité d'un réducteur d'eau, dans le but d'augmenter les performances et d'atténuer les déformations différées.

3 ETUDE DE LA FISSURATION

3.1 Etude au MEB (*)

Les observations effectuées au MEB sont représentées par les photos 1 à 6 qui montrent que le béton de sable est un matériau amorphe et homogène. L'interface pâte-granulat (photo 6) n'a pas de texture particulière et l'adhérence est bonne. Nous ne remarquons pas de fissures notables si ce n'est les petites failles visibles (photo 6) au voisinage des interfaces et qui peuvent résulter des chocs car l'échantillon analysé à un volume de 1 cm³ et est obtenu par fragmentation par choc d'une éprouvette.

La fissuration du béton classique est le résultat de gradients de traction liés au séchage non uniforme qui est à l'origine de gradients hydriques. Si notre matériau est peu ou pas fissurant, cela implique que les gradients hydriques sont négligeables c'est-à-dire que le séchage d'une éprouvette est uniforme, c'est ce que nous nous proposons de vérifier.

(*) MEB : Microscope Electronique à Balayage

3.2 Etude de la cinétique du séchage

Nous avons analysé au banc gamma une éprouvette de béton du sable dont les faces ont été rendues étanches subissant ainsi un séchage radial. Le schéma de l'étude de cette éprouvette est représenté ci-dessous (Figure 1).

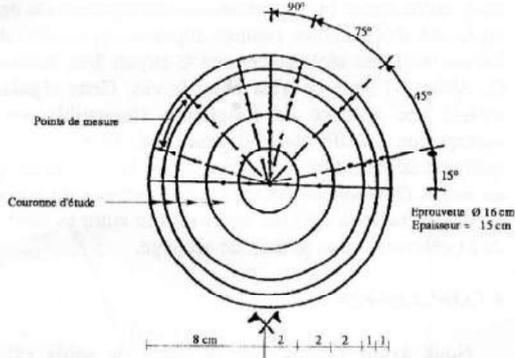


Figure 1 : Schéma de l'étude gammamétrique

Cette méthode, basée sur l'absorption de rayons gamma, permet de suivre l'évolution de la perte de densité en fonction du rayon et de l'âge. Dans cet essai, l'éprouvette cylindrique est posée sur un plateau pouvant se déplacer verticalement et est traversée par un faisceau collimaté de rayons gamma dont on mesure le taux d'absorption. La position de l'éprouvette permet de déterminer, par différences avec les mesures initiales, la variation de la densité moyenne d'une couronne.

Le banc utilisé n'étant pas équipé d'un plateau permettant la rotation de l'éprouvette et donc un balayage de l'anneau, les mesures ont été faites en plusieurs points dont la moyenne a servi de valeur pour la couronne. Le déplacement vertical du plateau autorise l'obtention de la distribution de ces valeurs le long du diamètre.

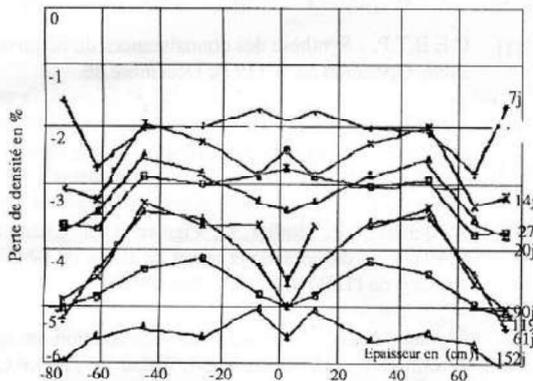


Figure 2 : Evolution de la perte de densité en fonction de l'épaisseur et de l'âge du béton de sable

Contrairement aux bétons traditionnels où le séchage n'affecte qu'une couronne périphérique de quelques mm d'épaisseur pendant les premiers mois, l'éprouvette de béton de sable est affectée par le séchage extrêmement

rapide et uniforme, en effet le coeur subit le séchage dès le cinquième jour après le décoffrage, lequel est opéré à 48 heures et l'amplitude de variation de densité au coeur au bout de 20 jours représente plus de 80% de celle relevée en périphérie à la même période. On peut penser par conséquent, que les gradients de contrainte en surface sont peu importants et la ténacité de fissuration qui en découle est faible. L'homogénéité du béton de sable confirmée par des observations au MEB ne peut expliquer à elle seule un tel comportement.

Le recours à la porosimétrie à mercure s'avère dans pareil cas fort instructif, c'est pourquoi nous avons analysé des fragments de béton de sable durcis. Les résultats obtenus étant sensiblement les mêmes (autre preuve de l'homogénéité du béton), nous ne représentons qu'un seul des histogrammes des pores.

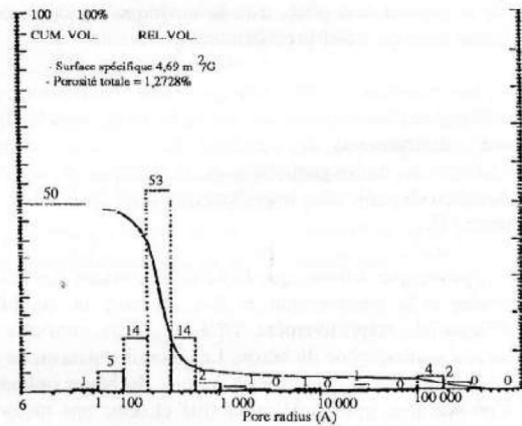


Figure 3 : Porométrie à mercure du BS

La structure du béton de sable est de type monomodale avec un pic unique se situant au voisinage de 250 Å autour duquel se situent plus de 90% des pores du complexe. Ces pores sont donc de type "micro", alors que dans un béton classique, la pâte de ciment durci présente deux pics.

Un premier pic correspond aux pores de petits diamètres et est situé dans la plage allant de 50 à 100 Å selon le rapport E/C. Le second pic correspond aux pores de grands diamètres (600 à 1 300 Å) de type "macro", ce dernier pic est fortement influencé par le rapport E/C.

C'est sans doute cette porosimétrie particulière du béton de sable qui explique le comportement au séchage. La structure bimodale du béton ordinaire agit comme facteur de rétention d'eau dans le corps de l'éprouvette, alors que la structure monomodale semble favoriser au contraire l'évaporation. Les gros pores présents dans le béton ordinaire agissent selon nous comme barrière et s'opposent à l'évaporation de l'eau des micropores, comme par exemple par augmentation de la pression dans les petits pores, rendant toute expulsion d'eau difficile. Il n'est pas question ici d'une théorie, mais d'une tentative d'explication d'un phénomène difficile à interpréter, car il est difficile

de raisonner à l'échelle de l'infiniment petit.

L'autre explication viendrait de ce que l'eau des pores du béton ordinaire passe par deux phases successives : une macrodiffusion accélérée en raison des grands diamètres (pic de la courbe porosimétrique au voisinage de 10^3 A) suivie d'une évaporation de l'eau des micropores s'opérant de façon nettement plus ralentie. Ce ralentissement est à relier à la petitesse des pores qui ont un diamètre moyen de 10^2 A, soit 10 fois l'épaisseur d'une molécule d'eau seulement, ce qui rend difficile l'expulsion de l'eau. De plus, les forces d'absorption de l'eau dans ces micropores doivent être importantes en raison du volume réduit des pores.

Dans le béton de sable, l'essentiel des pores (90% environ) ont un diamètre moyen de 250 A soit 25 fois l'épaisseur de la molécule favorisant un séchage uniforme et surtout non gêné, d'où la cinétique rapide et uniforme mise en relief précédemment.

En corollaire, nous avançons que l'uniformité du séchage et l'homogénéité du béton de sable, sont les facteurs déterminants de l'absence de fissures. Cet état explique, au moins partiellement, le retrait de dessiccation du béton de sable plus important que celui du béton ordinaire [3].

Notons par ailleurs que la faible dispersion des résistances à la compression et des mesures de modules d'élasticité, respectivement 1,2% et 2,2%, confirme le caractère homogène du béton. Les modules d'élasticité du béton de sable sont inférieurs à ceux du béton ordinaire d'où une plus grande déformabilité et donc une moindre fissuration.

3. 3 Retrait en fonction du taux de séchage

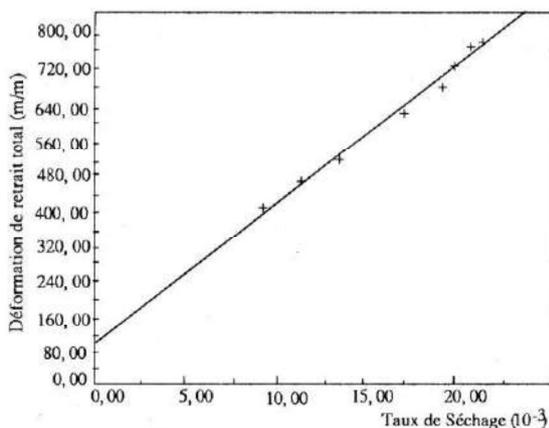


Figure 4 : Retrait total en fonction du taux de séchage BS

La linéarité existante entre le retrait et le taux de séchage montre bien que le retrait est une fonction crois-

sante de l'eau évaporable. La première mesure étant faite à 7 jours, il est normal de considérer qu'avant cet âge, il existe un retrait d'autodessiccation non nul, ce qui est par ailleurs mis en évidence par la droite (intersection avec l'axe des déformations), l'autre renseignement très remarquable est que l'aspect de la droite reste assez régulier (les points expérimentaux sont très voisins de la droite), alors qu'on aurait pu s'attendre à un changement de pente en raison d'éventuelles fissures apparaissant au-delà d'un certain degré de séchage comme le stipule très justement G. Abiar [4] mais ce n'est point le cas. Cette régularité traduit une absence de fissuration susceptible, en se superposant à l'effet de l'évaporation de l'eau, de provoquer une déformation plus ralentie que l'évaporation, tout au moins dans une deuxième phase apparaissant après la première étape où il existe une linéarité entre la variation de la déformation et le taux de séchage.

4 CONCLUSION

Nous avons montré que le béton de sable est un matériau homogène et de structure monomodale alors que le béton ordinaire est de type bimodale. La porométrie fine du béton de sable est à l'origine de la nature du séchage qui est uniforme contrairement au béton classique où elle est non uniforme. Cette cinétique particulière de la dessiccation du béton de sable, explique le caractère non fissurant du matériau. L'absence de grosses inclusions dans la matrice est un facteur supplémentaire qui atténue le risque de fissuration.

Ce caractère non fissurant, ouvre au béton de sable de grands espoirs d'utilisation dans des domaines très variés notamment en sous-oeuvre grâce à sa granularité très fine et donc une énergie de mise en place beaucoup moins coûteuse que les micro bétons traditionnels. L'utilisation de ce matériau sous forme projetée est à envisager dans la réhabilitation des collecteurs d'eaux usées.

5 BIBLIOGRAPHIE

- [1] C.E.B.T.P. - Synthèse des connaissances du béton de sable. Opération 52 G 119 de Décembre 86.
- [2] J. J. Chauvin - Rapport interne Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux - Béton de Sable - Réf. FAER 1. 30. 24. 5 et 1. 30. 24. 6 - Janvier 87.
- [3] A. Benaïssa, P. Morlier, C. Viguiet et J.J. Chauvin Cinétique de dessiccation et retrait du Béton de sable - Annales de l'ITBTP, n° 504 - Juin 1992.
- [4] Gholam Abiar - Cinétique de dessiccation et de déformation différée du béton, Thèse de l'E.N.P.C. Octobre 86.