

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/275461987>

ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN BETON A BASE DE SABLE DUNAIRE ET DE SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS

CONFERENCE PAPER · FEBRUARY 2007

READS

58

2 AUTHORS:



Mohamed Larbi Benmalek

Université 8 mai 1945 - Guelma

26 PUBLICATIONS **50** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Derabla Riad

Université 20 août 1955-Skikda

19 PUBLICATIONS **3** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN BETON A BASE DE SABLE DUNAIRE ET DE SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS

ELABORATION AND CHARACTERISATION OF A CONCRETE FORMULATED WITH DUNE SAND AND INDUSTRIAL BY PRODUCTS

BENMALEK. Mohamed Larbi¹, DERABLA Riadh²

¹ Département de Génie civil, Université de Guelma (Algérie), BP 401, Guelma 24000, Algérie

² Département de Génie civil, Université de Skikda (Algérie), BP 26, Skikda 21000, Algérie

RESUME : Les résultats d'essais expérimentaux sur un béton ayant comme squelette un sable dunaire du sud algérien sont présentés dans cette communication. La granulométrie de ce sable quasi-homométrique a été corrigée à l'aide d'un filler calcaire, sous produit industriel, afin d'améliorer sa compacité. L'influence de différents paramètres sur le comportement rhéologique et mécanique de ce béton est présentée. L'adhérence des aciers tors avec celui-ci est mesurée. Sont présentés également les résultats d'essais de comportement de ce béton en flexion réalisés sur des poutres grandeur nature. La synthèse des résultats obtenus tend à prouver qu'avec ce type de matériau, il peut être réalisé non seulement des éléments secondaires de construction avec beaux aspects de surface et effets architectonique mais aussi des éléments porteurs pour les structures faiblement sollicitées comme c'est le cas des habitations modernes peu ou pas étagées.

MOTS-CLEFS : Sable dunaire – Béton de sable – Sous produit – Résistance mécanique – Flexion.

ABSTRACT: Results of an experimental investigation on a dune sand based concrete existing in the south of Algeria are presented in this communication. Industrial by-products (calcareous fillers) have been inserted to correct its natural grading. The influence of different parameters on the rheological and mechanical behaviour of this concrete is presented. The bonding with steel has been measured. Results of flexural tests on true prototype reinforced dune sand concrete beams are also presented. It has been found that the dune sand can be used successfully to constitute a skeleton of a concrete when a judicious choice is made on its composition. Using this special sand concrete two achievements can be made: secondary elements of buildings with a nice surface sight and architectonic effects, and also structural elements for buildings slightly prompted which can be those of modern housing with a few or no stories.

KEY-WORDS : Dune sand – Sand concrete – By-product – Mechanical strength – Bending.

1. Introduction

L'idée de promouvoir la technologie et l'utilisation du béton de sable de dunes est née de plusieurs constatations:

- Abondance de la matière première: le sable dunaire est un matériau très abondant, on le trouve dans de nombreux pays en quantité quasi-inépuisable. En Algérie par exemple, il couvre environ 60% du territoire.
- Tendance pour les granulats alluvionnaires et de carrière à la raréfaction et donc au surcoût: Si on sait que les granulats entrent dans la composition du béton classique dans une proportion de 75%, on réalise nettement l'augmentation du prix de revient du béton.
- Coût du transport des granulats: dans certains pays pauvres en granulats ou ayant des ressources mal réparties, il faut parfois les transporter sur des distances très grandes. (Stamapoulos et Kotzias, 1971) rapportent le cas de 2 constructions, l'une dans le golf d'Arabie et l'autre dans le Maghreb (les auteurs ne donnent pas plus de précisions sur les sites exacts) où les constructeurs devant la pénurie en granulats et l'isolement des chantiers par rapport aux lieux d'approvisionnements en granulats (des centaines de km) ont dû se rabattre avec succès sur les sables de désert disponibles localement pour éviter le surcoût que le transport pouvait engendrer et le retard dans les délais de réalisation.

- Economie dans l'utilisation: certaines constructions peu ou pas étagées, comme c'est le cas de celles qu'on pourrait projeter dans les sites où le sable dunaire est abondant, sont peu sollicitées mécaniquement; le béton de sable pourrait remplacer avantageusement le béton classique onéreux.

- Esthétique: à cause de sa petite granularité, le béton de sable permet la réalisation d'effets architectoniques et donne de beaux aspects de surface. Le phare de Port-Saïd en Egypte en est une parfaite illustration.

Le béton de sable apparaît donc comme un matériau opportun de substitution pour peu que sa formulation donne les caractéristiques rhéologiques et mécaniques équivalentes à celles des bétons classiques pour les usages envisagés.

Dans ce qui suit, nous exposons les résultats d'expériences effectués sur le sable de dunes de la région de Laghouat (400 km au sud d'Alger) et sur du béton ayant comme squelette ce sable dunaire. Il faut noter qu'un béton confectionné avec le même sable a été étudié, sous d'autres aspects (Bederina, 2000, Hadjoudja, 2001).

2. Composants du béton de sable

Le béton de sable projeté dans cette étude est un mélange quaternaire de sable, de ciment ordinaire dans les mêmes proportions que pour un béton traditionnel, de fillers et d'eau courante.

2.1. Le sable dunaire

- Granulométrie fine à moyenne (figure 1).
- Module de finesse $M_f = 1.20$ (contre 2.20 à 2.80 pour les sables à bétons classiques).
- Densités: $M_v = 1480 \text{ kg/m}^3$ et $M_s = 2630 \text{ kg/m}^3$
- Porosité: 44%, Compacité: 56%
- $E_{sv} = 93$ et $E_{sp} = 89$: Sable très propre, dépourvu de poussières ou d'éléments argileux.

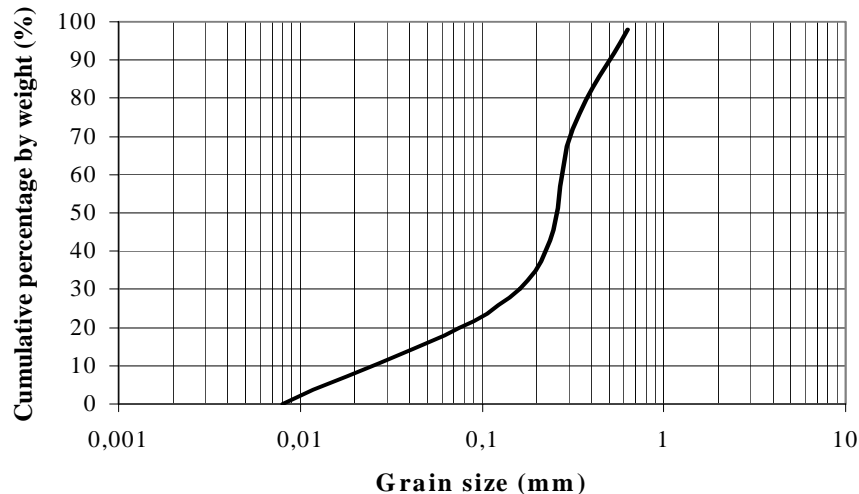


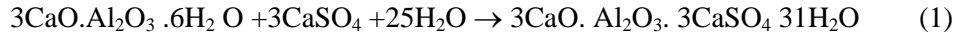
Fig.1: Courbe granulométrique du sable dunaire employé

L'analyse chimique a montré de son côté (tableau 1) que ce sable contient très peu de sulfates, de sulfures, de chlorures et de matières organiques.

Tableau 1. Essais chimiques

Eléments nocifs	Résultats d'essais	Observations et conclusions
Matières organiques	Néant	Essai calorimétrique
Sulfates et sulfures	% $\text{SO}_3^{--} = 0.91$	Taux d'agressivité (NFP 18- 301) < 1% (Taux modéré)
Chlorures (ions chlores)	% $\text{Cl}^- = 0.0007$	Taux < 0.65% : Pouvoir corrosif négligeable (DTU, Fascicule 65, Art 24-25)

Les éléments chimiques dont on peut craindre la présence le plus sont les sulfates, rencontrés le plus fréquemment sous forme de CaSO_4 . Ces sulfates peuvent attaquer le béton par l'intermédiaire de la réaction chimique avec les aluminates contenus dans le ciment (Equation 1):



Le produit obtenu (Hydro-sulfo-aluminate de calcium) en se cristallisant provoque des contraintes internes dans le béton d'où résulte une désintégration mécanique. D'un autre côté, ces sulfates en contact avec les armatures du béton de sable armé mènent à la corrosion de ces dernières et donc à une chute progressive de résistance mécanique de l'ensemble béton-acier.

Le sable étudié contient moins de 1% de SO_3 (0,91% exactement), taux qui correspond à un degré modéré d'agressivité selon la norme NFP 18-301.

2.2. Les fillers

Les fillers (poudres minérales dont le diamètre maximal n'excède pas 80 μm) comblent les vides intergranulaires du sable dunaire, améliorant ainsi sa compacité naturelle et permettant l'augmentation des performances du béton de sable envisagé.

Les fillers employés dans ce travail sont de nature calcaire, constitués essentiellement de calcite (97% de CaSO_3). Ce choix est motivé par le fait que les fillers calcaires sont capables de créer des liaisons épitaxiales avec le ciment (Unikowski, 1981); ils sont susceptibles de s'intégrer dans la pâte de ciment, elle-même constituée d'environ 80% de calcaire.

Ils ont été obtenus par tamisage des restes de concassage (tamis de 80 μm de diamètre). Le lieu de prélèvement est une carrière abandonnée relativement importante située à Djebel Dakhla, à la sortie nord de la ville de Laghouat vers la commune de Assafia.

L'analyse chimique a montré que les éléments nocifs sont inexistantes en son sein et que le taux de sulfate craint est en deçà des recommandations des normes (taux $\text{SO}_3 = 0,83\%$). Par ailleurs, sa capacité d'absorption en eau E/F (= 0,28) caractérisant son avidité en eau est de l'ordre de celle des liants traditionnels si l'on se réfère au tableau 2 (Guinez et al, 1984).

E : Masse d'eau absorbée, F : Masse des fillers (120g selon la norme NFP 18-554).

De ce point de vue, les fillers employés ne posent pas de problèmes particuliers vis à vis de la maniabilité du béton de sable ou encore de son ressuage.

Tableau 2: Rapport E/F de certains produits (Guinez et al, 1984)

Produits	Eau/Filler
billes de verre	0.00
cendres volantes	0.17
ciment	0.27
chaux	0.28
oxyde de fer	0.44

2.3 Le ciment et l'eau de gâchage

Le ciment employé est un ciment portland artificiel CPA 210-325 de fabrication très récente au moment des essais. Sa surface spécifique Blaine est de 3300 cm^2/g et sa densité 2.95. L'eau de gâchage est une eau potable du robinet, PH ~ 7.5.

3. Formulation du béton de sable dunaire

C'est le principal problème posé pour son utilisation. Il n'existe pas de méthode propre de recherche de formulation. Les principaux auteurs ayant étudié ce matériau ont adopté des approches basées exclusivement sur le tâtonnement (Guinez et al, 1984), (Couret, 1982) ou sur les approximations successives (Delude, 1984), (Chauvin, 1987). Cette difficulté est liée, à notre avis, à la multitude des paramètres qui caractérisent les composants de ce béton (nature et granulométrie des sables, nature et

finesse des fillers etc...) et à la multitude des objectifs recherchés par les auteurs. Il semble qu'aucune approche basée sur le comportement du béton de sable vis à vis du traditionnel rapport E/C ou sur le rapport E/(C+F) caractérisant la teneur en eau de gâchage n'ait été proposée. C'est pourquoi nous avons essayé d'exploiter cette voie et les résultats des différentes approches pour déterminer la composition optimale de notre béton; celui-ci devant posséder une résistance mécanique à la compression moyenne (15 à 20 MPa) et une maniabilité plastique facilitant sa mise en oeuvre.

La méthodologie adoptée est basée sur le critère de la recherche d'une compacité maximale, comportant 2 variantes et inspirée des travaux sur les bétons de sable effectués par Chauvin et Grimaldi (Chauvin et Grimaldi, 1988). Les auteurs ont fixé le dosage en ciment et ont défini la quantité de fillers nécessaire pour une compacité et une résistance maximales de leurs bétons.

Les auteurs ont fait ressortir clairement que quelque soit le type de sable utilisé, la densité du béton (et donc sa compacité) augmente avec l'augmentation de la quantité de fillers. Or un gain de compacité s'accompagne toujours d'un gain de résistance. De ce constat, nous avons opté pour une quantité fixe et maximale de fillers (300 kg/m³) pour 2 variantes de compositions afin d'atteindre les résistances maximales correspondantes.

Variante 1 : Variation du rapport E/C de 0.80 à 1.20 (pas = 0.05)

Variante 2 : Variation du rapport E/(C + F) de 0.40 à 0.60 (pas = 0.05)

Les compositions résultantes ont été détaillées dans la communication présentée par Benmalek M.L. au First Arab Mechanical Congress Damas, Syrie (Benmalek et Bali, 1997). Parmi 42 compositions préparées et testées, celle qui a été adoptée pour la suite de l'étude est la suivante:

- sable dunaire 1249 kg/m³
- ciment 350 kg/ m³
- fillers calcaires 300 kg/ m³
- eau de gâchage 281 l/ m³

Ses principales caractéristiques sont : R_{c28} = 17.76 MPa, affaissement au cône = 8.55 cm et masse volumique = 2130 kg/m³.

4. Essais sur le béton de sable dunaire

Ils ont été réalisés dans le laboratoire de béton de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.

4.1 Adhérence avec les aciers

Nous avons voulu réaliser cet essai d'information sur l'adhérence du béton de sable avec les aciers crénelés (tors) de construction pour savoir si ces 2 matériaux peuvent travailler correctement en association et si la contrainte de rupture de la liaison entre eux définie par la relation qui suit a le même ordre de grandeur que celle obtenue habituellement avec le béton traditionnel de granulats.

$$\tau = \frac{dF/dx}{U} = \frac{1}{U} \times \frac{dF}{dx} = \frac{1}{\pi\phi} \times \frac{dF}{dx} \quad (2)$$

dF: Variation par unité de longueur de l'effort de traction axial exercé sur l'armature.

dx: Elément de longueur

U: Périmètre utile de l'armature

φ: Diamètre de l'armature

Cette contrainte peut s'écrire $\tau = \frac{1}{\pi\phi} \times \frac{F}{l}$ si elle est supposée constante sur toute la longueur d'adhérence.

Dans l'éprouvette d'essai (figure 2), les 4 barres Ø6 ont été placées pour éviter sa rupture prématurée par traction et pouvoir observer le phénomène d'adhérence.

D'autre part, la barre 2 ancrée de 20 cm dans l'éprouvette sert de barre témoin.

La force de rupture moyenne d'adhérence obtenue sur 3 éprouvettes identiques a été F = 38.4KN correspondant à une contrainte d'adhérence moyenne calculée $\tau = 6.77 \text{ N/mm}^2$.

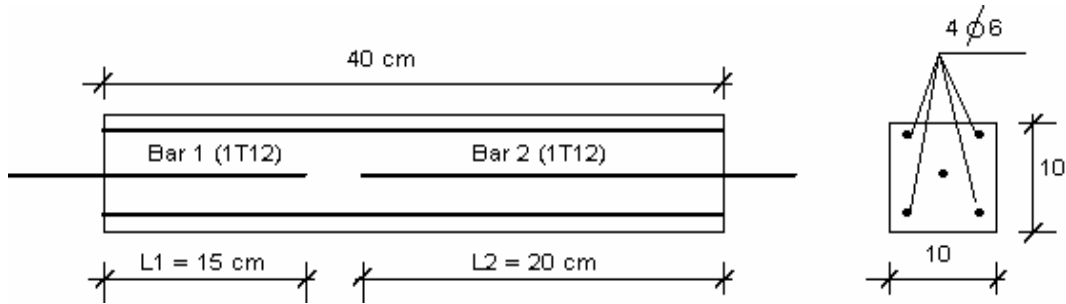


Figure 2 : Schéma de l'essai d'adhérence

La contrainte d'adhérence du béton traditionnel avec les aciers tors varie entre 3 et 9 N/mm² (Renaud et Letertre 1978) ; de ce point de vue, il est permis de conclure aisément que le béton de sable dunaire s'accommode bien avec les aciers de construction.

4.2 Comportement en compression (Loi σ - ϵ)

L'évolution de la déformation relative avec l'augmentation de la contrainte de chargement déterminée sur des éprouvettes normalisées 16x32 montre que le module d'Young $E = 21000$ MPa (figure. 3) est plus proche de ceux des microbétons (Gorisse, 1972) que de celui des bétons traditionnels qui est généralement voisin de 30.000 MPa.

Gorisse avait en effet obtenu pour un microbéton de 1.6 mm de diamètre maximal de grains $E = 22.000$ MPa et $E = 26.000$ MPa pour un microbéton ayant une même résistance à la compression (20 MPa) et un diamètre maximal des grains $\varnothing_{\max} = 5.0$ mm

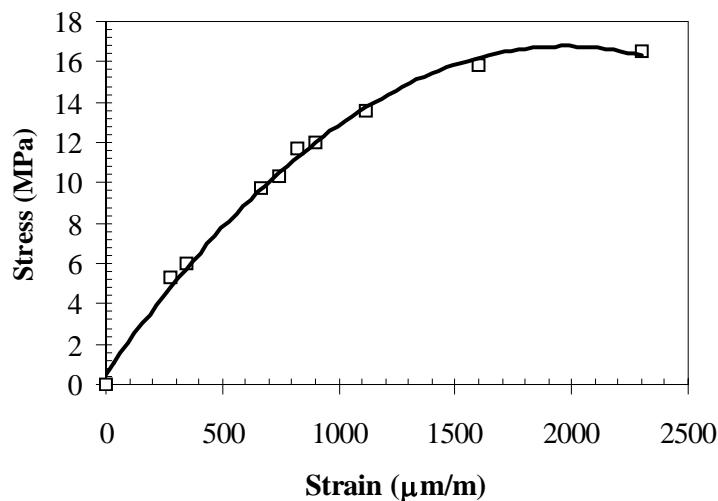


Figure 3: courbe contrainte-déformation

4.3 Comportement en flexion

Le schéma adopté pour l'essai (figure 4) permet d'éliminer l'influence de l'effort tranchant dans la zone centrale, objet de l'étude. L'évolution des flèches a été mesurée à l'aide de 2 comparateurs précis à 0.01 mm près, placés au milieu de la poutre et fixés au sol au moyen de supports métalliques. La flèche mesurée est la moyenne de lecture des 2 comparateurs. L'évolution des déformations relatives du béton et des aciers a été mesurée à l'aide de jauges électriques reliées à un pont d'extensométrie permettant les lectures directes des déformations.

L'évolution de la déformation du béton a été suivie grâce à une jauge de 90 mm de longueur collée au milieu de la surface supérieure de la poutre. Celle des aciers au moyen de 2 jauges de 10 mm de longueurs collées aux milieux des barres inférieures de traction.

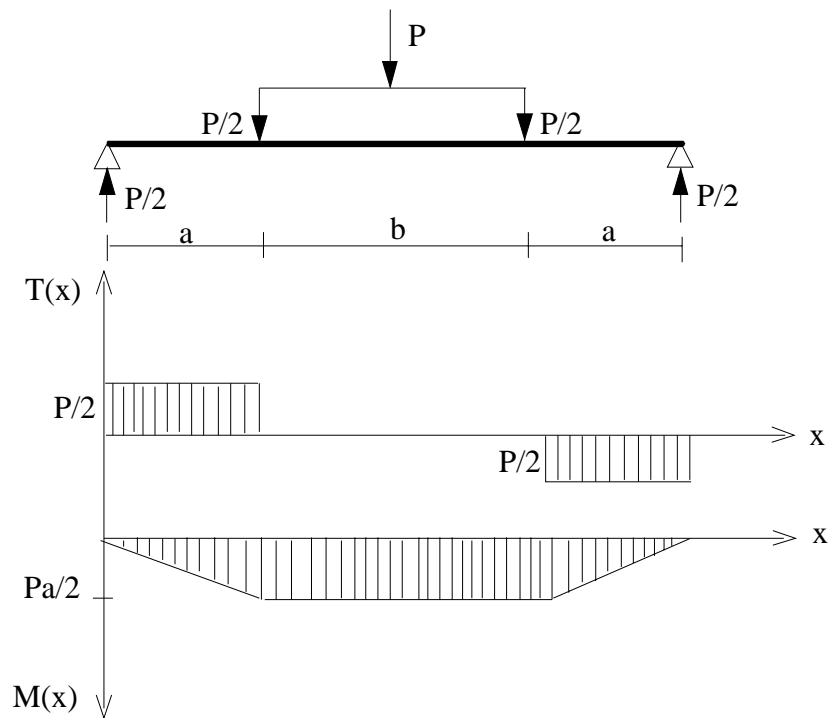


Figure 4 : Schéma d'essai

La poutre armée testée est décrite schématiquement dans la figure 5 qui suit. Les zones d'appui sont renforcées en cadres Ø8 afin d'éviter une rupture prématurée de la poutre par cisaillement.

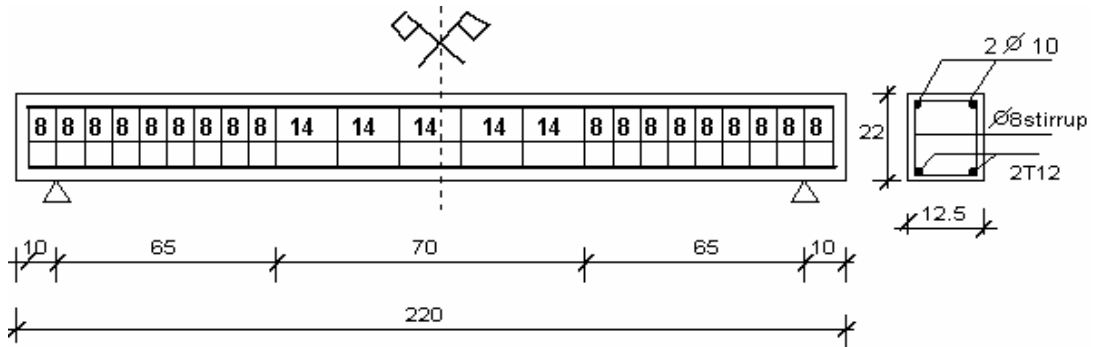


Figure 5 : Poutre armée testée en flexion

Le tableau 3 suivant donne quelques résultats caractéristiques chiffrés.

Tableau 3: Résultats chiffrés

P_{ult} (KN)	M_{ult} (KN.m)	Flèche à l'apparition de la 1ère fissuration (mm)	P_f (KN)	M_f (KN.m)	ϵ_a (‰)	ϵ_b (‰)
52	16,90	11,60	22	7,15	1,54	0,75

P_f : Charge de la 1ère fissuration

M_f : Moment fléchissant correspondant

ϵ_a : Déformation relative de l'acier

ϵ_b : Déformation relative du béton de sable

4.3.1 Charges et moments ultimes

Pour la section de la poutre d'essai adoptée (12.5cm x 22cm), la charge et moment ultimes calculés suivant le schéma classique de l'article A.4.3.41 du BAEL 83 (Règlement Béton Armé aux Etats Limites) auraient été :

$$M_{ult} \text{ (calculé)} = 14 \text{ KN.m}$$

$$P_{ult} \text{ (calculé)} = 43 \text{ KN}$$

Résultats qui sont inférieurs de 20% par rapport à ceux obtenus par voie expérimentale (tableau 3). Cette comparaison entre des valeurs calculées par le biais d'un règlement conçu pour le béton traditionnel et des valeurs obtenues expérimentalement sur un béton spécial a tendance à prouver que les formules proposées par ce règlement sont largement sécuritaires pour ce type de béton.

4.3.2 Flèche maximale

Son évolution est sensiblement proportionnelle à la charge appliquée (figure 6). Pour une poutre en béton armé simplement appuyée, la flèche limite généralement admise est fonction de sa longueur et a pour valeur $l/500$ (Renaud et Letertre, 1978), ceci en l'absence de fissures. Si une telle restriction est appliquée au cas de notre poutre, la flèche maximale serait $f_{max} = 4,40 \text{ mm}$, ce qui est loin d'équivaloir la quantité mesurée pendant notre expérience et qui est $f_{max} = 11,60 \text{ mm}$.

De ce point de vue, on peut penser que le béton de sable dunaire offre la sécurité exigée au béton traditionnel.

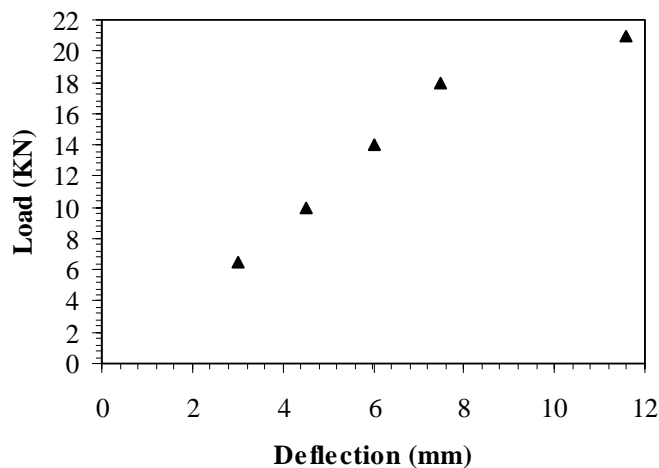


Figure 6: Evolution de la flèche

4.3.3 Morphologie des fissures

Un aspect important du comportement du béton armé réside dans la disposition des fissures. Nous reproduisons dans la figure 7 qui suit la morphologie des fissures relevées sur la poutre testée.

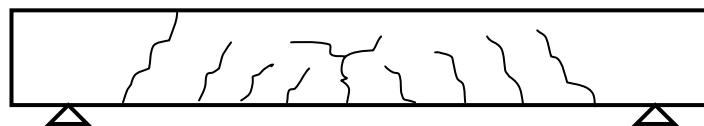


Figure 7 : Morphologie des fissures

Les premières fissures sont apparues dans la région centrale. Elles sont verticales. Ceci montre que le béton a cessé de résister à la traction et que l'acier a pris le relais.

En augmentant la charge, des fissures inclinées sont apparues en dehors de la partie médiane. Elles ont continué à s'ouvrir jusqu'à la rupture brusque de la poutre dans la zone d'application de la charge.

5 - Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude:

- Le sable dunaire peut constituer le squelette d'un béton pour des constructions peu étagées si un filler calcaire est inséré dans sa granulométrie pour la rendre plus étendue.
- Un béton de sable de résistance mécanique comprise entre 15 et 20 MPa a été élaboré. Une plus grande résistance peut selon nous être obtenue si un réducteur d'eau classique est mélangé à la composition.
- La maniabilité plastique est atteinte avec un rapport $E/(C+F) = 0.4$ ce qui pourrait correspondre à une maniabilité plastique obtenue avec un béton traditionnel ayant $E/C = 0.4$.
- Le béton de sable dunaire adhère très bien aux aciers de construction. La contrainte d'adhérence moyenne obtenue lors de nos essais d'information se situe en une très bonne position dans la gamme de celles obtenues avec les bétons traditionnels. Le béton de sable dunaire peut donc être armé. Il serait intéressant de réaliser des essais systématiques pour apprécier son évolution vis à vis du changement des paramètres liés à l'adhérence.
- L'étude du comportement du béton de sable dunaire sur la poutre grandeur nature a permis de constater que celui-ci est analogue à celui du béton traditionnel. Les prescriptions du BAEL 83 restent globalement sécuritaires.
- La rupture de la poutre testée a été brutale. Elle a eu lieu dans la phase élastique de comportement.

6. Bibliographie

- Bederina M., *Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux, effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériau*. Thèse de magister soutenue au Centre universitaire de Laghouat. Septembre 2000.
- Benmalek M.L. et Bali A. *Le béton de sable de dunes : un matériau performant pour le monde arabe*. Proceedings of First Arab Mechanical Congress. Damas, Syrie. 1-3 juin 1997. pp 254 – 261.
- Chauvin J.J. *Bétons spéciaux: Les bétons de sable*. LRPC de Bordeaux. France. Fév. 1987.
- Chauvin J.J. et Grimaldi G. *Les bétons de sable*. Bulletin de liaison du laboratoire des ponts et chaussées No 57. Réf. 3336. France. Sept-oct. 1988.
- Couret B. *Utilisation du béton de sable en technique routière*. Mémoire d'ingénieur de Génie civil. IUT "A". Université de Bordeaux. France. 1982.
- Delude P. *Etude du béton de sable*. CETE Bordeaux. France. 1984.
- Guinez R., Gluais G. et Delude P. *Les bétons de sable*. Ministère de l'urbanisme et du logement. Laboratoires de Bordeaux et de Blois. France. 1984.
- Gorisse F. *Etude des microbétons pour modèles de structures*. Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics No 291. France. Déc. 1972.
- Hadjoudja M., *Contribution à l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de dunes. Influence du traitement de cure et de l'ajout de fillers*. Thèse de magister soutenue au Centre universitaire de Laghouat. Octobre 2001.
- Renaud H. et Letertre F. *Ouvrages en béton armé*. Edition Foucher. Paris. France. 1978.
- Stamapoulos A.C. and Kotzias P.C. *Concrete without coarse aggregates*. ACI Journal. Sept 1971. USA.
- Unikowski Z.R. *Influence des argiles sur les propriétés des mortiers de ciment*. Thèse de doctorat d'ingénieur. LCPC. Paris. France. Avril 1981.