

MICROFICHE ETABLIE A PARTIR DE
L'UNITE DOCUMENTAIRE
N

جديدة منجزة حسب الوثيقة
رقم :

92

0202

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

المركز الوطني للوثائق
CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION

SERVICE DE REPROGRAPHIE
ET IMPRIMERIE

B.F. 826 RABAT



مصلحة الطباعة والتصوير
ص.ب. 826 الرباط

F

1

LE SABLE DE CONCASSAGE CALCARENITE DANS LE BETON

Par

M. BENSOUDA

Ingenieur au C.E.B. (LFEE)

Résumé

La production du sable par concassage de roche calcaire tendre dans la région de CASABLANCA est considérée comme une solution de substitution possible des sables de mer traditionnellement utilisés dans le béton.

Cette communication a pour objectif de présenter les performances du béton employant ce sable, l'influence de la teneur en fines du sable sur la qualité du béton ainsi qu'un aperçu sur le comportement à long terme.

Mots-clés

Roche calcaire - CASABLANCA - Sables de mer - Teneur en fines

La production du sable par concassage de roche calcaire tendre dans la région de CASABLANCA est considérée par les autorités comme une solution de substitution possible aux ressources traditionnelles dans la région, à savoir les sables de mer actuellement interdites à l'exploitation notamment dans les domaines publics.

La roche calcaire tendre appelée également calcarénite représente un intérêt économique certain par rapport aux autres roches massives dans la production du sable. D'une part cette roche est disponible en grande quantité sur pratiquement toute la zone littorale Marocaine, d'autre part son caractère friable et non abrasive la rend facilement concassable rendant son coût de production relativement attractif pour les investisseurs.

Une première installation de grande envergure a vu le jour dans la région de BOUSKOURA en 1986, assurant une production annuelle de sable d'environ 600.000 à 700.000 tonnes.

Si la production de sable calcarénite présente un intérêt économique attractif il n'en demeure pas moins que son utilisation dans les bétons de structure suscite des réactions dans le secteur organisé et pratiquement un refus général dans le secteur informel.

Pour élucider cette situation, le L.P.E.E. entame des recherches ayant pour but une connaissance approfondie de ce type de sable ainsi que l'incidence de ses caractéristiques sur la qualité et le comportement à court et long terme du béton durci.

1 - POSSIBILITE D'EMPLOI DU SABLE CALCARENITE DANS LE BETON

L'emploi du sable de concassage de roche calcaire tendre a fait l'objet d'étude dans d'autres pays tel que la France où ce type de sable est considéré comme une solution locale devant l'épuisement progressive des matériaux alluvionnaires traditionnellement utilisés.

En France, des études économiques financées par la taxe parafiscale sur les granulats (étude en 1987) ont montré que la production de granulats de roche calcaire représente 20 % de la production totale des granulats et la part des granulats de roche calcaires tendres représente 10 % des granulats de roches calcaires toute catégorie représentent ainsi une quantité d'environ 6 millions de tonnes/an.

Ces informations montrent que le sable de concassage calcarénite est employé dans la confection du béton. Cependant la production de ce sable est accompagnée d'une quantité excessive de fines qui peut être préjudiciable à la qualité du béton.

Afin d'élucider ces questions, nous synthétisons dans ce qui suit certains résultats de recherches menés dans différents organismes (L.C.P.C., C.E.B.T.P., C.E.M.E.R.E.,)

1-1 - Caractéristiques de la roche

Rappelons que les calcaires sont essentiellement des roches carbonatées contenant au moins 50% de CaCO_3 et pouvant être accompagnées de dolomite ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ d'aragonite CaCO_3 et de sédirite FeCO_3 .

La composition des calcaires peut être différente selon l'importance de la teneur de l'un des éléments constitutifs donnant ainsi des calcaires quartzeux, des calcaires dolomitiques,...

Les calcaires tendres sont constitués principalement de calcite.

Ces compositions interviennent sur les propriétés mécaniques de la roche, le quartz intervient par ses qualités mécaniques, la dolomite intervient par ses fortes densité et dureté.

Les propriétés physiques et mécaniques des roches calcaires se répercutent d'une part sur l'aptitude de production de sable par concassage, d'autre part sur les performances physiques et mécaniques du sable produit.

Les propriétés physiques : les propriétés physiques peuvent être caractérisées par :

- * La masse volumique apparente m_a (ou densité)
- * La porosité (en %)

Les propriétés mécaniques : Celles-ci peuvent être caractérisées par :

- * La résistance à la compression R_c ,
- * La résistance à la traction R_t ,
- * Le module d'élasticité E ,
- * La vitesse de propagation des ondes longitudinales V_L ,
- * La résistance à l'usure : Micro-Deval (M.D.),
- * La résistance aux chocs : los Angelès (L.A.)

Ces caractéristiques sont déterminées par des essais normalisés et peuvent classer les calcaires selon leur propriétés.

Une classification pratique et utile pour l'ingénieur est reportée dans la figure 1.

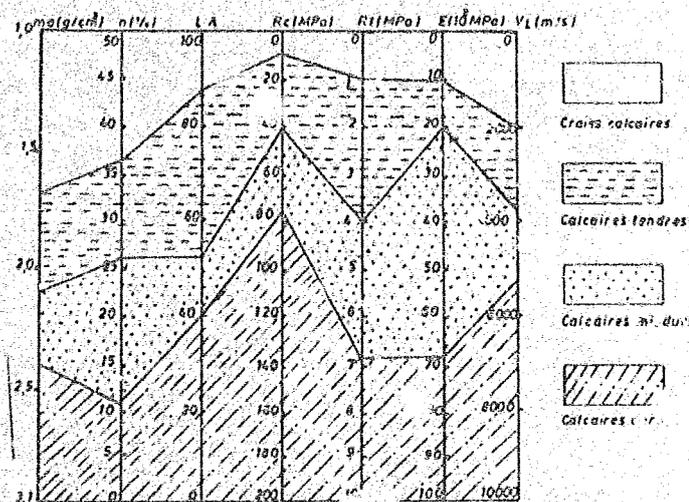


Figure 1 : Classification des roches calcaires.

Comme le montre la figure 1, les roches calcaires tendre présentent des caractéristiques très variables: la résistance à la compression peut varier entre 100 et 400 barres,...

Une question qui mérite d'être étudiée est de savoir qu'elle est la corrélation entre les caractéristiques de la roche et les caractéristiques du sable produit par concassage.

1-2 - Taux de filler et résistance à la compression

La production de sable de concassage de roche massive est toujours accompagnée d'une quantité de fines ($< 80 \mu m$) plus ou moins grande selon les caractéristiques de la roche ainsi qu'au mode d'élaboration du sable.

Des recherches menées au CEBTP par Bertrand sur les sables issus de roche calcaire tendre montrent (figure 2) que la quantité et la qualité des fines influent sur la résistance à la compression du béton durci. Cette figure 1 montre en particulier que la résistance à la compression R_c est optimale pour un taux de filler de l'ordre de 8 à 10 %.

Une explication plausible à la présence de cet optimum peut être avancée en observant l'allure de la courbe en figure 3. En effet, les fines calcaires jouent un rôle également optimale sur le comportement rhéologique du béton : l'absence totale des fines rend le béton moins maniable et par conséquent, pour atteindre la maniabilité désirée on surdose en eau, ce qui conduit à une chute de compacité du béton durcis entraînant ainsi une chute de résistance.

A l'opposé, l'excès de fines rend le béton moins maniable et une conclusion similaire à celle ci-dessus explique la chute de résistance.

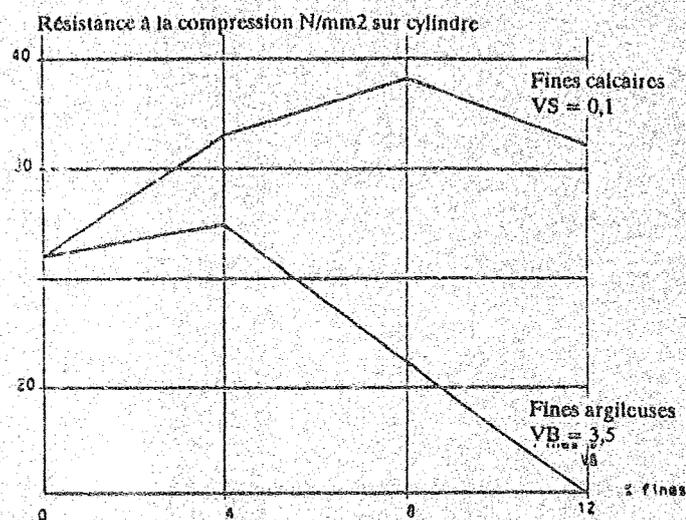


Fig. 2 : Influence des fines sur la résistance à la compression à 28 j. casais sur des bétons de calcaire à maniabilité égale (slump = 5,5 cm). ciment 300 kg/m^3 mur. G/S = 1,5.

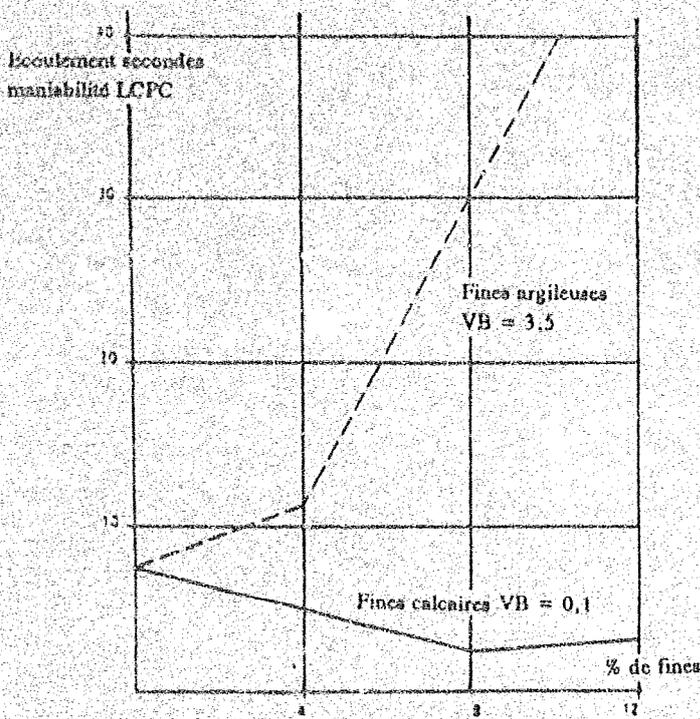


Fig. 3 - Action des fines sur la maniabilité des bétons de calcaire. Ciment 300 kg/m³. D = 20 mm. G/S = 1.5

1-3 - Propriétés mécaniques et physiques du béton durci

Les caractéristiques mécaniques et physiques (module de déformation longitudinal, déformation à la rupture, retrait, fluage,...) d'un béton usuel sont définies dans le règlement du calcul de structure, selon des relations et formules bien admises.

Le béton à base de sable calcarénité n'est pas considéré par les bureaux d'études et batisseurs comme un béton spécial et les mêmes règles habituelles sont appliquées.

Il est donc utile de connaître les caractéristiques et propriétés de ce béton.

Ci-après nous donnons un aperçu sous forme d'indications qui restent à préciser.

(a) Module de déformation longitudinale E1

Dans les règles Techniques BAEL, le module de déformation longitudinale instantané est déterminé selon la relation :

$$E1 = 11000 (f_c)^{1/3} \text{ (MPa)}$$

$$(f_c)^{1/3} = \sqrt[3]{f_c}$$

où f_c : résistance à la compression

ainsi lorsque $f_c = 20 \text{ MPa}$ alors $E1 = 29,8 \text{ GPa}$
 $f_c = 40 \text{ MPa}$ alors $E1 = 37,6 \text{ GPa}$

Des essais menés au CEBTP ont montré que pour des bétons de granulats calcaire tendre, E1 varie entre 15 et 45 GPa.

b) Résistance à la compression

Elle dépend de plusieurs paramètres et en particulier de la teneur en fines du sable. Comme on l'a vu plus haut celle-ci peut atteindre des valeurs de l'ordre de 390 bars.

c) Perméabilité

La perméabilité dépend en particulier de la compacité qui est influencée par la teneur en fines du sable.

a) Retrait

Le phénomène de retrait (endogène ou de dessiccation) est essentiellement mis au compte du comportement du ciment lors de son hydratation. Cependant le squelette granulaire (gravette - sable) s'oppose par sa rigidité au retrait de la pâte de ciment. Les granulats calcaires tendres conduisent donc à un retrait élevé. Des études expérimentales ont montré que le retrait du béton constitué de granulats calcaire tendre peut atteindre des valeurs de l'ordre de 700 $\mu\text{m/m}$, alors que le retrait d'un béton usuel ne dépasse généralement pas des valeurs de l'ordre de 400 $\mu\text{m/m}$.

La valeur de la teneur en fines semble également influencer le retrait dans un ordre croissant.

1-4) Durabilité des bétons à base de sables calcarénité

a) Réaction alcalis-granulat

L'opinion la plus répandue sur la réactivité potentielle des granulats calcaires note que ce sont les calcaires dolomitiques qui sont les plus à craindre vis-à-vis de la réaction alcalis-granulat. Cette réaction est appelée dédolomitisation.

Les calcaires tendres contiennent principalement de la calcite et leur pourcentage en dolomite est faible. Par conséquent, le calcaire tendre ne présente pas a priori de danger vis-à-vis de la réaction d'alcalis-granulats. Cependant, ce risque n'est pas à écarter si les calcaires tendres contiennent des éléments silicatés argileux.

b) Résistance à l'attaque de l'eau sulfatée

L'attaque par l'eau sulfatée se traduit par un gonflement du béton suite à la formation de cristaux expansifs tels l'ettringite et la thaumasite. Dans la plus part des publications actuelles c'est la teneur en C3A du ciment qui conditionne l'expansion du béton par l'attaque des eaux sulfatées.

Le développement de la réaction dépend cependant de la diffusion des ions sulfatés dans la masse du béton.

Les fines calcaires introduites dans la masse du béton améliorent sa compacité et réduisent la perméabilité par conséquent freinent la diffusion des ions sulfates.

c) Autres paramètres de durabilité

Sans vouloir être exhaustif, nous estimons que l'appréciation de la durabilité doit intégrer d'autres paramètres et essais tels que la tenue à l'usure dans des milieux agressifs, la tenue à la fatigue pour des ouvrages soumis à des chargement cycliques ou dynamiques, la résistance à la diffusion des ions chlore, les essais gel-dégel pour caractériser la durabilité d'une manière générale,.....

3 - LE SABLE CALCARENITE DANS LA REGION DE CASABLANCA

Dans le cadre de la recherche sur le béton utilisant le sable calcarénite, nous avons entamé une étude expérimentale, dont nous donnons ci-après les résultats ;

3.1.) Caractéristiques de la roche

Nous avons prélevé à la carrière située dans la région de BOUSKOURA, des blocs de roches, du sable et un tout-venant pour mesurer les paramètres caractéristiques de la roche, à savoir :

- * analyse chimique ;
- * essai d'usure Deval à sec Ds ;
- * essai d'usure Deval humide Dh ;
- * essai Los Angelès LA ;
- * résistance à la compression RC ;
- * masse spécifique Ma ;
- * densité d ;
- * porosité pondérale Pp ;
- * Vitesse ultrason longitudinale VI

a) Résultats de l'analyse chimique

Les résultats de cette analyse sont donnés au tableau I

Détermination en	%	Résultats
Eau combinée	H ₂ O	0,37
Anhydride carbonique	CO ₂	42,21
Résidu insoluble	/	1,75
Oxyde de Fer	Fe 203	0,36
Alumine	Al 203	0,27
Chaux	CaO	54,37
Magnésie	MgO	0,43
Anhydride sulfurique	SO ₃	0,04
Non dosés	ND	0,19
Matières organiques	/	0,22

Tableau I : Analyse chimique du sable calcarénite prélevé à la carrière BOUSKOURA

Les résultats montrent que la roche ainsi analysée contient 97 % de Ca CO₃. La roche est donc de nature calcaire pur (entre 95 et 100 % de Ca CO₃)

b) Résultats des essais physiques et mécaniques

Les résultats des essais sont reportés au tableau II. L'ensemble de ces résultats permet de quantifier les propriétés physiques et mécaniques de la roche. Ces résultats montrent en particulier que la roche calcaire prélevée à la carrière de Bouskoura est très friable (Ds = 0,7 et LA = 72 %) et très poreuse (Pp = 27,7 %).

Paramètres mesurés	Résultats
Deval sec Ds	0,7
Deval humide Dh	0,6
Los Angelès LA (%)	72,0
Rés. à la compression sec Rcs (bars)	27,2
Rés. à la compression humide Rch (bars)	14,0
Masse spécifique apparente ma (t/m ³)	2,33
Densité d (t/m ³)	1,42
Porosité pondérale Pp (%)	27,7
Vitesse longitudinale VI (m/s)	1803

Tableau II. Paramètres caractéristiques de la roche calcarénite (prélèvement à la carrière Bouskoura)

3-2- Béton durci

Les premiers essais que nous avons menés ont pour but de connaître l'influence en fines sur la résistance à la compression.

A cet effet, nous avons préparé le sable avec des teneurs en fines variables : 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 (%).

Les essais sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques de diamètre 16 cm de hauteur 32 cm confectionnées en béton dont la composition théorique est la suivante :

GII (15/25) Quartzitique	560 kg
GI (15/25) Quartzitique	440 kg
Sable calcarénite	760 kg
Ciment CPJ 45	350 kg
Eau	190

La maniabilité étant fixée à 5 cm.

Les résultats des essais à la compression à 28 jours sont reportés dans la figure 4.

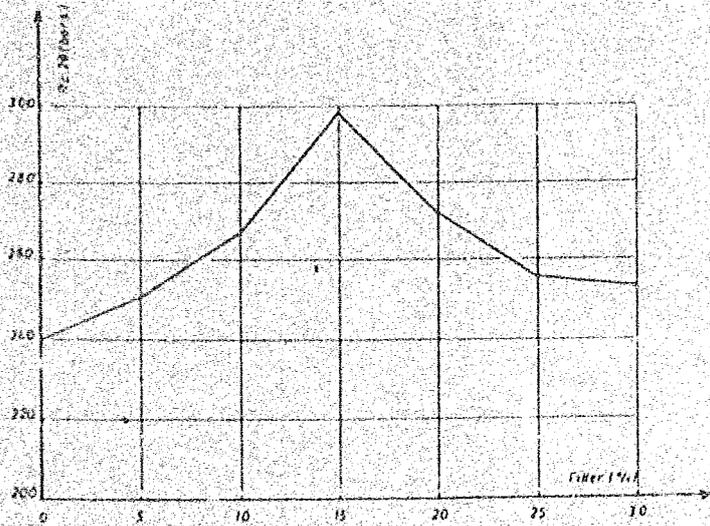


Fig. 4 - Influence de la teneur en fines du sable calcarénite sur la résistance à la compression.

Comme le montre la figure 4, l'optimum est atteint avec 15% de fines de sable, la résistance à la compression à 28 jours atteint dans ce cas 298 bars.

Cette valeur de la résistance est comparable à celle du béton employant le sable de mer traditionnel, comme le montre l'histogramme en figure 5.

3-3- Exemple d'ouvrages

Nous citons ci-après les noms de quelques ouvrages comme exemples d'emploi du sable calcarénite dans le béton :

a) Grande Mosquée HASSAN II

Dosage en ciment : 375 kg/m³

Le sable employé est entièrement le sable de concassage calcarénite

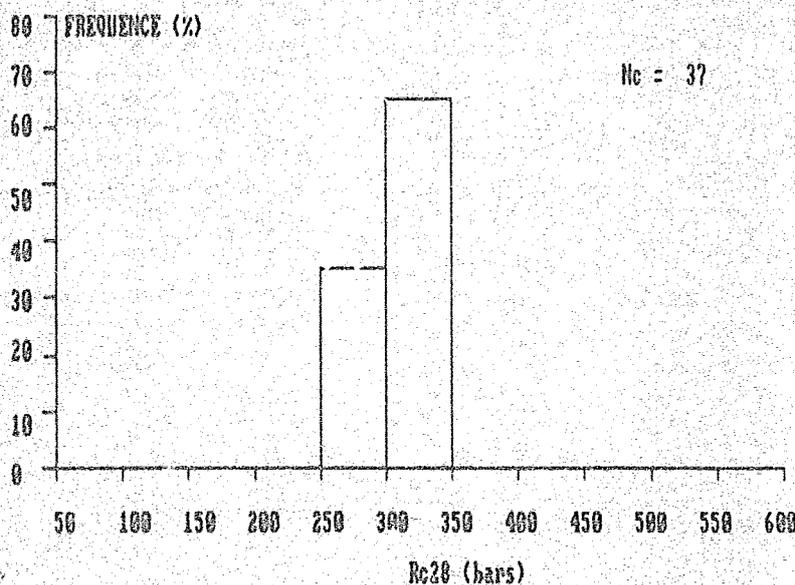


Fig. 5 - Répartition de Rc 28 sur une population de 37 bétons confectionnés au Laboratoire, dosage en ciment 350 kg/m³. Sable de mer usuel, utilisé dans le béton à CASABLANCA.

b) Pont de MECHRAA

Pont construit sur Oued Oum ER'RAËLIA à Mechraâ Ben Abou : c'est un Pont en Béton Précontraint construit par encorbellement (premier Pont au Maroc réalisé par ce mode de construction).

Deux sables ont été employés dans la confection du béton selon les proportions :

Sable d'Oued : 60 %

Sable de calcarénite : 40 %

c) Autres exemples

Bâtiment : logement ATTACHAROUK, produits préfabriqués, buses, agglos, hourdis,.....

CONCLUSION :

Le sable de concassage calcarénite apparaît comme une solution de substitution au sable de mer traditionnellement employé dans la région de CASA-BLANCA.

Cependant comme nous l'avons présenté dans cette communication le taux de fines contenues dans ce sable joue un rôle important sur la résistance mécanique du béton durci. Par conséquent, le respect d'un taux de fine fixé est primordiale et doit être réglé au niveau de la production.

Par ailleurs, les caractéristiques du béton à base de ce sable ainsi que son comportement à long terme selon des sollicitations particulières (attaques chimiques, contraintes mécaniques cycliques,...) ne sont pas encore totalement explorées. Des efforts de recherches supplémentaires sont nécessaires.

69473 (S)

BORDEREAU DE SAISIE

C.N.D

MAROC



ISN	
NONAT A 110	
NAC A 090	02-0202
CODBI A 121	
COTRA A 122	

TYPREL A 141	T	G	S	R
NOAP A 142				
NACAP A 143				

CODUD	
INDEX A 010	APRIL A Maroc
NAME A 020	

STATUT A 150	C	D	PAYS PROD. A 160	MA	TYPE BIBL. A 171	T
-----------------	---	---	------------------------	----	------------------------	---

NIVUD A 131	A	M	C	NIVSO A 132	M	C	8
----------------	---	---	---	----------------	---	---	---

INDICATEURS BIBLIOGRA- PHIQUES	REUNION	DICTIONNAIRE	DONNEES NUMERIQUES	THESE	TEXTE LEGISLATIF	BIBLIOGRAPHIE	CARTES (INCLUSES)	RESUME	NON CONVEN- TIONNEL	
A 172	K	L	N	U	W	Z	Y	E	V	R

UNITE DOCUMENTAIRE (A/M/C)	A 120 AUTEUR ET AFFIL	BENSOUDA, M. / L.P.E.E. / Casablanca / MA
	A 220 COLLEC TIVITE AUTEUR	
	A 230 TITRE UD	Le Sable de concassage calcarenite dans le beton
	A 240 A 250	TITRES TRADUITS Utiliser le bordereau 2 : données complémentaires

SOURCE : DOCUMENT GENERIQUE (M/C/S)	A 310 AUTEUR		
	A 320 COLLEC TIVITE AUTEUR		
	A 330 TITRE DOCUM GENER		
	A 340	TITRE GENERIQUE . . . utiliser le bordereau 2 : données complémentaires	
	A 410 TITRE PUBLIC EN SERIE	Revue Marocaine de Génie Civil	
A 420 VOLNUM	no. 35	A 430 ISSN	0051-1446

NOTES D'INDEXATION

DATIN D 100	
DATSA D 110	
DATMI D 120	

--

FIN

النهاية

9

مشاهد

VUES