LES BETONS DE COQUILLAGES

Par
El Bou OULD BOULAHI
Ingénieur ENTP

Résumé

Cette étude sur les bétons de coquillages est faite à partir des résultats obtenus dans différentes études de béton depuis 1970. Elle porte sur quatre-vingt cinq bétons différents destinés à trente-deux chantiers de Nouakchott. Il faut préciser que les coquillages sont les granulats principaux utilisés dans les bétons de Nouakchott.

Mots clés : coquillage - sable de mer - bétons - dosage.

1 GRANULATS

1.1 Sable de mer

Tous les bétons de Nouakchott sont réalisés avec du sable de mer. Ce sable monogranulaire 0/0.6 a des caractéristiques constantes. Son fuseau granulaire est serré (Figure 1), son poids spécifique est de 2.65 g/cm^3 et la densité apparente du sable sec est de 160. Toutefois, il convient de se méfier de sa teneur en eau sur le chantier,

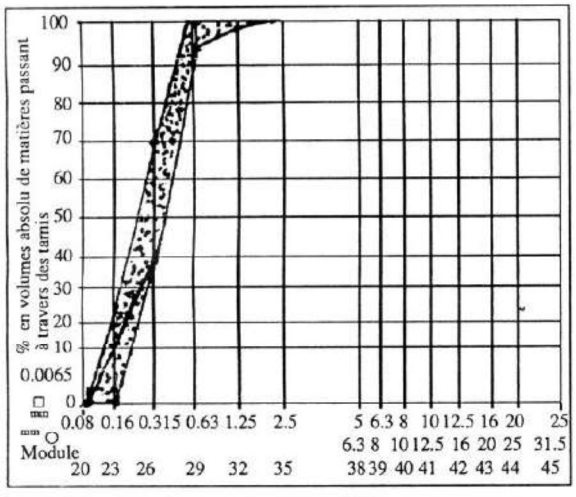


Figure 1 : Fuseau granulaire du sable de mer.

car sa densité sèche décroît rapidement jusqu'à 1.15, lorsque sa teneur en eau augmente (Figure 2). Ce sable est très propre, son équivalent de sable au piston étant toujours supérieur à 80. L'inconvénient majeur de ce sable est le manque d'étalement de sa courbe granulométrique.

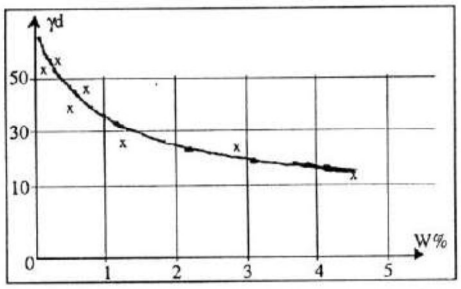


Figure 2 : Densité sèche du sable de mer en fonction de sa teneur en eau.

1.2 Coquillages

Les coquillages utilisés pour les bétons sont très divers. Aussi, nous les avons classés en plusieurs catégories.

▲ Gros coquillages

Ce sont des gros granulats utilisés pour la confection des bétons. Leur classe granulaire est comprise dans 2/50 avec leur plus grande dimension supérieure ou égale à 20 (Figure 3).

▲ Petits coquillages

Ce sont des coquillages intermédiaires entre les gros granulats et le sable, leur classe est comprise dans 0/20 (Figure 4).

▲ Coquillages concassés

Ce sont les meilleurs granulats pour la confection de ces bétons, à la condition qu'ils soient correctement dépoussiérés après concassage. En effet, ils possèdent une

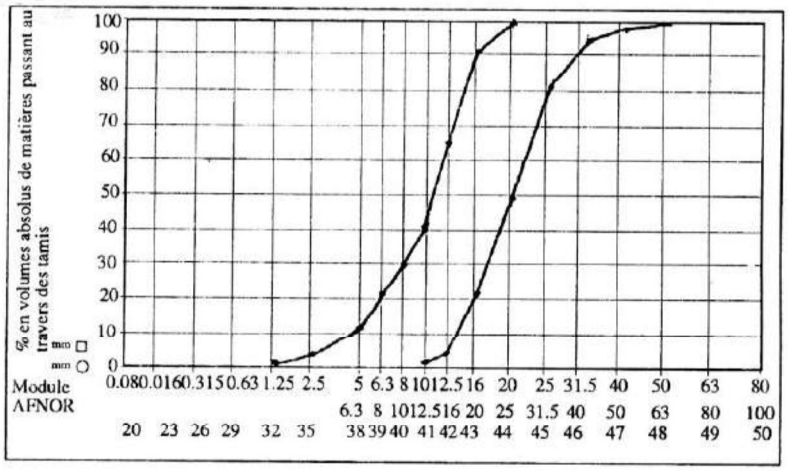


Figure 3 : Fuseau granulaire de gros coquillages.

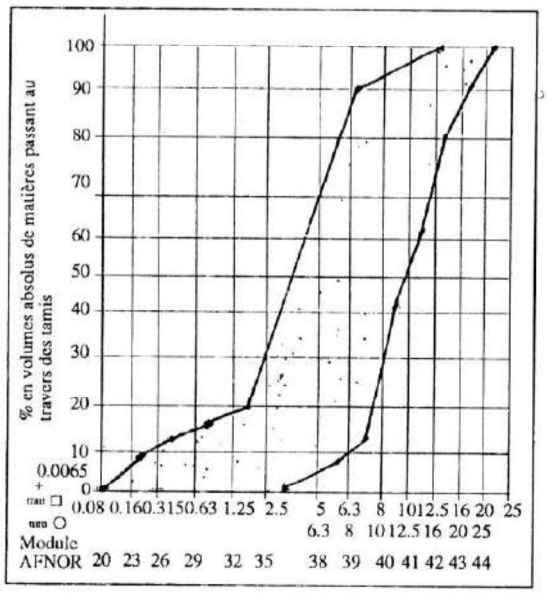


Figure 4 : Fuseau granulaire des petits coquillages.

meilleure forme pour la mise en place du béton que les coquillages entiers et, de plus, ils remplacent avantageusement les petits coquillages. Ces derniers possèdant des coquillages fragiles qui nuisent à la résistance du béton.

▲ Tout-venant coquillé

Ce sont les coquillages non tamisés qui servent à la confection des bétons économiques.

Caractéristiques	Poids spécifique		Densité apparente	
	extrêmes	moyenne	extrêmes	moyenne
Petits coquillages	2.72 - 2.87	2.77	0.57 - 0.89	0.72
Gros coquillages	2.72 - 2.92	2.82	0.67 - 0.87	0.79

2 COMPOSITION DES BETONS DE COQUILLAGES

Les méthodes de composition utilisées au laboratoire de Nouakchott sont les méthodes de Faury et de Vallette.

❑ Méthode Faury

Cette méthode est assez délicate à adapter aux coquillages. Après avoir déterminé la composition optimale se rapprochant le plus de la composition théorique, il faut encore rajouter du sable pour donner un peu de plasticité au béton. En effet, le granulat de base qu'il faudra considérer dans la méthode Faury est le coquillage rempli de sable et non le coquillage seul. Ceci permet d'obtenir des granulats convexes se rapprochant du modèle théorique. Ce sable est appelé sable de remplissage des coquillages. On détermine un "*coefficient de remplissage*" S par pesée d'un échantillon de coquillages remplis de sable.

$$S = \frac{\text{Poids de sable}}{\text{Poids de coquillage}}$$

Posons c_q : poids de coquillage par mètre cube.

La quantité de sable à rajouter en poids est alors $S.c_q/(1+S)$, alors que le poids de coquillage devra être diminué de la même quantité. C'est dans la détermination de ce coefficient de remplissage que la méthode devient expérimentale, se rapprochant alors plus de la méthode de Vallette.

Toutefois ce problème de sable de remplissage ne se pose pas pour les bétons de coquillages concassés.

❑ Méthode Vallette

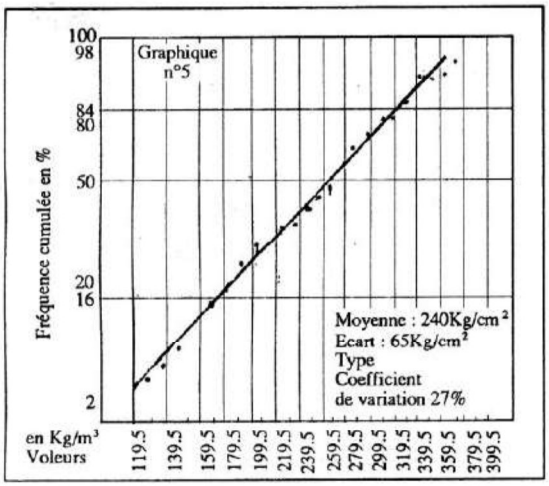
Cette méthode, entièrement expérimentale, est beaucoup plus appropriée aux bétons de coquillages et ne soulève pas de problèmes particuliers aux coquillages.

❑ Dosage en eau

Le dosage en eau est assez délicat, car nous ne disposons d'aucun essai pour le déterminer. En effet, le SLUMPTEST au cône d'Abrams ne peut pas être utilisé pour les bétons de coquillages car la forme des coquillages empêche un affaissement du cône.

Un béton de coquillages, insuffisamment dosé en eau, donne des états de surface très mauvais.

Les bétons de coquillages manquent donc de plasticité et leur mise en œuvre est très délicate. Il devrait être avantageux d'y ajouter des plastifiants. On se contente pour le moment, à Nouakchott, de surdoser en eau. Toutefois, les



résistances de ces bétons étant déjà relativement médiocres, ce surdosage doit rester léger. En fait, le dosage en eau moyen à Nouakchott est C/E = 1. 90.

3 LES RESISTANCES

Les résultats obtenus avec les quatre-vingt cinq bétons étudiés figurent dans le tableau des données ci-contre.

3.1 Résistance moyenne

L'histogramme de la distribution des résistances à la compression à vingt-huit jours est représenté à la figure 5.

Les résistances des bétons de coquillages étudiés varient entre 118 et 400 bars.

Fréquence Cumulée en %	2	4	5	7	11	14	21	25	31	34	39	42	52	58	64	67	72	75	81	85	89	92	93	93	95	96	99	99	99	100
Fréquence Cumulée	2	3	4	6	9	12	18	21	26	29	33	36	44	49	54	57	61	64	69	72	76	78	79	79	81	82	84	84	84	85
Fréquence	2	1	1	2	3	3	6	3	5	3	4	3	8	5	5	3	4	3	5	3	4	2	1	0	2	1	2	0	0	1
Classes enKg/cm²	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	269	279	289	299	309	319	329	339	349	359	369	379	389	399	409
Valeurs	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400

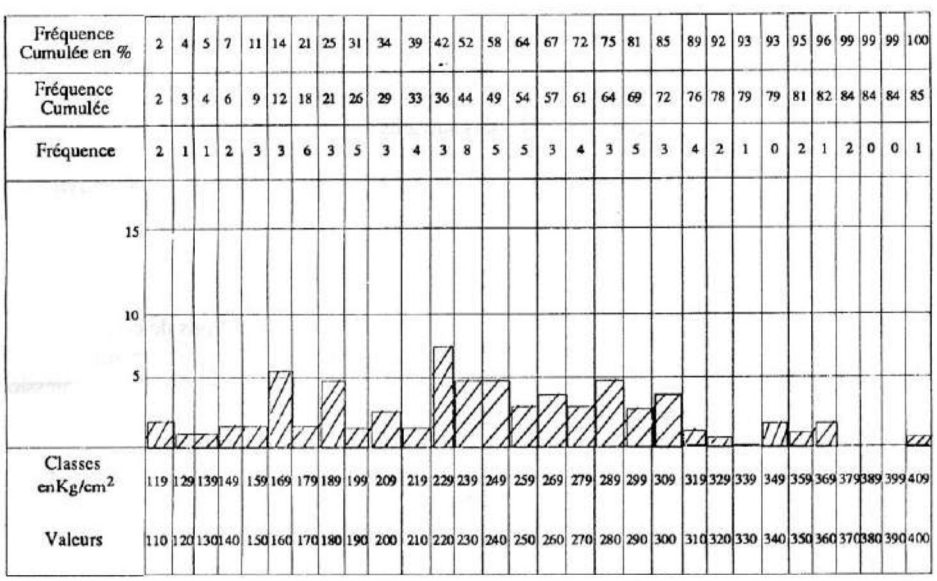


Figure 5 : Distribution des résistances à la compression à vingt-huit jours.

Résistance moyenne : $\sigma'_{28} = 240$ kg/cm²

Variance de la distribution : s = 65 kg/cm²

Soit un coefficient de variation : V = 27%

On peut noter aussi que seulement 43% des bétons ont des résistances supérieures à 250 kg/cm², qui est pourtant la norme couramment utilisée à Nouakchott.

3.2 Dosage en ciment

La figure 6 représente la corrélation entre le dosage en ciment C et la résistance σ'_{28} du béton. une régression linéaire a été effectuée sur ce nuage de point. La droite de régression trouvée est :

$\sigma'_{28} = 0,645\ C + 1$, soit sensiblement $\sigma'_{28} = 0,65\ C$.

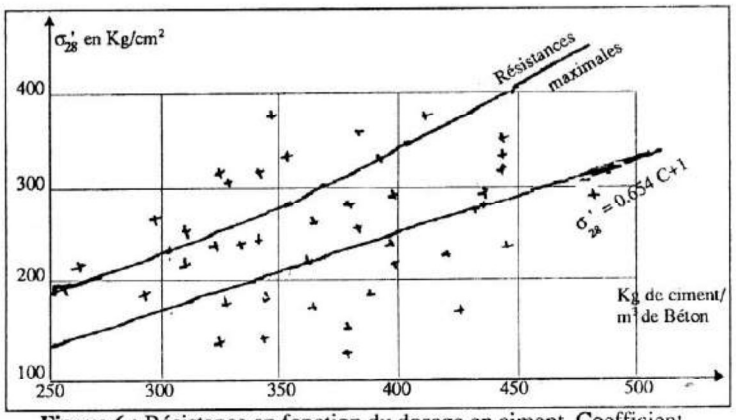


Figure 6 : Résistance en fonction du dosage en ciment. Coefficient de corrélation r = 0.50.

Toutefois le coefficient de corrélation est assez faible : r = 0.50. Ce graphique montre en outre que pour obtenir une résistance de 250 kg/cm² à vingt-huit jours, il est utile de doser le béton entre 375 et 400 kg de ciment par mètre cube.

Une courbe représentant les résistances maximales a été tracée pour essayer de déterminer les résistances maximales espérées que l'on peut obtenir, pour un dosage en ciment donné, lorsque le béton a une composition optimale avec des granulats de qualité.

Le dosage en ciment moyen réalisé à Nouakchott est de 366 kg de ciment par mètre cube avec écart type de 50 kg et donc un coefficient de variation de 14%.

3.3 Dosage en eau

La figure 7 représente la corrélation entre le rapport C/E et la résistance σ'_{28} . Une régression linéaire a été effectuée en fonction de (C/E - 0. 5) en assujettissant la droite de régression à passer par (0. 0), pour pouvoir obtenir la formule de Bolomey. La droite obtenue est :

σ'_{28} = 171 (C/E - 0.5) avec un coefficient de corrélation de 0.44.

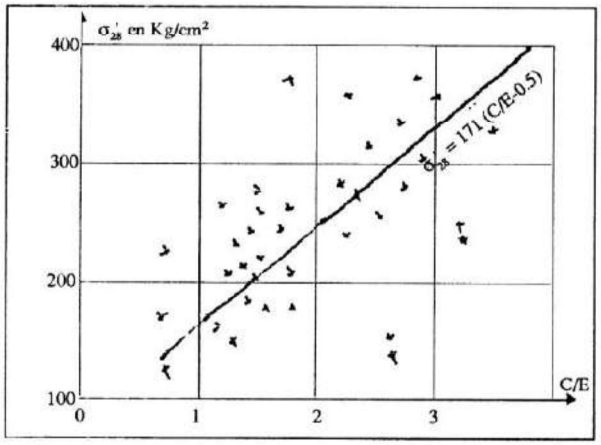


Figure 7 : Résistance en fonction du rapport C/E. Coefficient de corrélation G = 0.44.

Si on compare cette droite avec la formule de Bolomey on obtient :

σ'_{28} = 171(C/E - 0. 5) = Gσ'_c (C/E - 0.5)

avec G : Coefficient granulaire.

σ'_c : classe vraie du ciment (à 28 j).

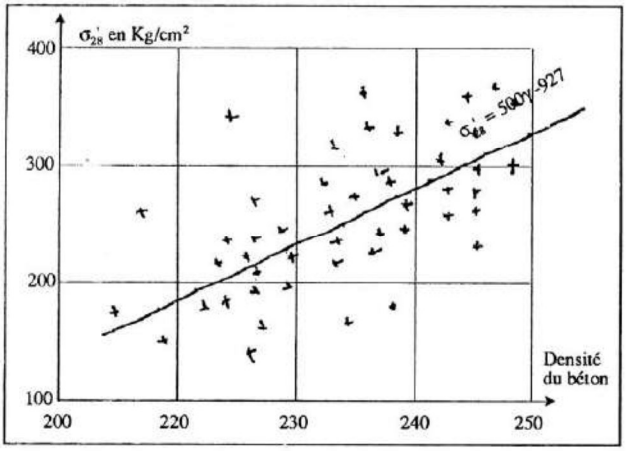


Figure 8 : Résistance en fonction de la densité du béton. Coefficient de corrélation G = 0.44.

La classe vraie du ciment a pu être déterminée en faisant la moyenne des résultats des essais de ciments (essentiellement de P 350 espagnols et de CPA 325 sénégalais) effectués au LNTP. Ainsi, on a obtenu σ'_c moyenne égale à 418 bars.

Le coefficient granulaire G des coquillages vaut donc : 0. 41, valeur relativement faible par rapport à celui des graviers. Le rapport moyen C utilisé à Nouakchott est 1.90 avec un écart type de 0.34, soit un coefficient de variation de 18%.

3.4 Densité de béton frais

Nous avons essayé de trouver une relation entre σ'_{28} et la densité γ du béton, sur le graphe n°8. Une régression linéaire a donné la droite :

σ'_{28} = 500 γ – 927

C'est pour cette droite σ'_{28}= f(γ) que l'on a obtenu la meilleure corrélation : r = 0.55

La densité moyenne des bétons de coquillages est 2.33 avec un écart type de 0.07 soit avec un coefficient de variation de 3%.

3.5 Influence de l'âge sur le durcissement du béton

D'après le tableau de données ci-joint, nous avons pu calculer le coefficient d'âge σ'_{28}/σ_7 permettant d'évaluer la résistance à 28 j à partir de la résistance à 7 j. Le coefficient d'âge moyen est de 1.34, avec un écart type de 0.16, soit un coefficient de variation de 12%.

Toutefois cette valeur du coefficient d'âge dépend plus des qualités des ciments utilisés que des coquillages et varie également avec les conditions de prise et de séchage du béton.

3.6 Rapport entre les résistances en compression et en traction

L'analyse statique du rapport σ'/σ a donné les résultats suivants :

σ'/σ moyen est égal à 8.3 avec un écart type de 1.2.

Il est habituellement admis, pour les bétons courants, que le rapport σ'/σ = 13 en moyenne.

Il semble donc que les bétons de coquillages ont de bonnes qualités de résistances en traction ou tout au moins par rapport à leurs résistances en compression.

3.7 Remarques

Dans l'étude statistique, la dispersion assez importante dans les différentes corrélations provient de la diversité des différents bétons de coquillages étudiés.

De plus, cette étude n'est basée que sur une population de 85 échantillons et les résultats moyens ne sont représentatifs de la réalité qu'avec des marges très larges que traduit bien la faiblesse des coefficients de corrélation.

4 CONCLUSION

Les coquillages sont loins d'être les granulats idéaux pour la confection du béton ; les bétons de coquillages sont peu plastiques et demandent un dosage important en eau pour faciliter leur mise en place.

Mais il serait faux de déclarer au vu des chiffres précédents que le béton de coquillages est un matériau cher et peu fiable.

Il faut savoir en effet que la ville tout entière de Nouakchott est construite avec ce béton et penser à toutes les économies faites en surdosant les bétons à 400 kg/m^3 de ciment au lieu de 350 Kg/m^3 évitant ainsi la recherche et le transport de graviers à plus de 200 km de Nouakchott. Le béton de coquillages reste le matériau local le plus adapté à Nouakchott ❻

Tableau des données

N°	Chantier	Ciment	Granulats	Densité	dosage en ciment	C/E	Compression		Traction 28 j
							7 j	28 j	
1	OMC	PUZ 350	PC + GC	2.30	397	1.99	202	267	
2	DMCR	P 350	CC + GC	2.32	309	1.69		238	
		P 350	CC + GC	2.35	359	1.67	223	248	
4	Super-	P 350	CC + GC	2.22	367	1.85	178	208	
5	Marché	P 350	CC + GC	2.27	346	1.85	136	161	23
6		P 350	CC + GC	2.37	383	1.85	205	255	30
7		P 350	CC + GC	2.25	346	1.92	176	216	
8		P 350	CC + GC	2.21	302	1.76	106	124	
9		P 350	CC + GC	2.27	314	1.69	151	179	
10		P 350	PC + GC	2.29	304	1.58		233	
11	Hôpital	CPAC325	PC + GC	2.27	351	1.78	112	173	22
12		CPAC325	PC + GC	2.28	356	2.00	183	228	
13	Sabah	P 350	PC + GC	2.29	426	2.00	148	183	
14	Villas	CPAC325	PC + GC	2.33	387	2.38	262	327	
15		CPAC325	PC + GC	2.38	372	2.00	220	258	
16	Smar	CPAC325	PC + GC	2.32	417	2.09	128	164	
17		CPAC325	PC + GC	2.27	322	1.25	99	148	
18	AFARCO		PCC+GCC	2.35	428	2.08	208	286	
19			PCC+GCC	2.34	425	2.00	190	250	35
20			PCC+GCC	2.40	446	2.64	340	400	
21			PCC+GCC	2.40	443	2.50	295	355	
22			PCC+GCC	2.39	439	2.37	258	330	
23			PCC+GCC	2.36	433	2.27	220	310	33
24			PCC+GCC	2.35	431	2.18	213	290	
25		P 350	PC + GC	2.40	399	2.64	263	319	
26	CNSS	P 350	PC + GC	2.35	391	2.64	202	240	
27		P 350	PC + GC	2.25	375	2.64	203	233	
28		P 350	PC + GC	2.28	376	2.38	232	307	
29	SOGEMAT		TVC	2.29	357	1.78	190	227	
30			TVC	2.18	340	1.78	109	160	
31			TVC	2.22	346	1.78	76	119	
32	SMAR		PC + GC	2.33	380	1.91	141	245	
33			PC + GC	2.39	390	1.90		317	
34			PC + GC	2.30	374	1.91	132	212	
35	ENECOFA	P 350	GC	2.44	356	1.84	204	284	
36	IPN	CPA 325	PC + GC	2.32	330	1.70	202	237	
37		CPA 325	PC + GC	2.46	350	1.70	207	285	
38		CPA 325	PC + GC	2.44	348	1.70	208	272	
39	SMAR	PC + GC	PC + GC	2.43	354	1.88	213	250	
40	(SMC)	PC + GC	PC + GC	2.42	352	1.88	204	245	
41	Sucrerie	CPA 325	PC + GC	2.42	348	1.84	282	374	
42		CPA 325	GC	2.42	399	2.11	264	354	
43	Stade	CPA 325	CC	2.23	397	1.60		200	
44		CPA 325	CC	2.26	340	1.52		159	
45	Hôpital	CPA 325	PC + GC	2.45	350	1.72	215	323	
46		CPA 325	PC + GC	2.23	319	1.72	183	236	
47		CPA 325	PC + GC	2.31	244	1.23	137	183	
48		CPA 325	PC + GC	2.27	240	1.23	95	118	
49		CPA 325	PC + GC	2.38	252	1.23	123	198	
50		CPA 325	GC	2.44	258	1.23	112	211	
51		CPA 325	PC + GC	2.44	338	1.70	223	297	

N°	Chantier	Ciment	Granulats	Densité	dosage en ciment	C/E	Compression 7 j	Compression 28 j	Traction 28 j
52	Villas	CPA 325	PC + GC	2.47	406	1.86	163	239	
53	BCM	CPA 325	PC + GC	2.38	402	2.02	248	310	
54		CPA 325	PC + GC	2.36	378	2.00	210	230	
55		CPA 325	PC + GC	2.38	391	1.86	144	152	
56		CPA 325	PC + GC	2.38	355	1.70	120	173	
57	Faire Nationale	CPA 325	GC	2.37	341	1.85	195	260	
58		CPA 325	GC	2.35	340	1.75	130	200	
59		CPA 325	PC + GC	2.40	352	1.82	245	297	
60	Garage de la culture		PC + GC	2.37	341	1.84	208	308	
61	BCM	CPA 325	GC	2.36	388	1.83	210	295	36
62		CPA 325	GC	2.31	332	1.67	102	150	21
63		CPA 325	GC	2.36	384	1.67	183	230	
64	Polyclinique	CPA 325	PC + GC	2.31	393	1.76	179	199	
65	CNERV		GC	2.26	348	1.47		182	24
66			GC	2.40	350	1.65	162	196	26
67	Groupe G01	CPA 325	CC	2.46	397	2.07	213	270	
68	Capitale	CPA 325	GC	2.31	421	2.50	175	198	
69	Sud	CPA 325	GC	2.29	361	2.50	95	130	
70		CPA 325	GC	2.34	500	2.50	200	258	
71		CPA 325	PC + GC	2.30	367	2.50	135	173	
72	Centrale	CPA 325	PC + GC	2.29	474	2.38	228	303	
73	Ksar	CPA 325	PC + GC	2.28	494	2.38	228	370	
74		CPA 325	PC + GC	2.14	305	2.08	103	175	
75		CPA 325	PC + GC	2.24	284	1.50		192	21
76	Ecole KSAR		GC	2.30	409	2.20	192	243	
77	Ecole Medina		PC + GC	2.27	392	1.25	201	270	20
78	Ecole Nouakchott	CPA 325	TVC+GC	2.22	364	1.67	115	170	
79	LYCEE	CPA 325	PCC+GCC	2.42	297	2.00	200	261	
80	ENTREPÔT Frigorifique	CPA 325	PC + GC	2.28	327	1.61	116	145	
81	Pavillon	CPA 325	CC + CC	2.40	325	1.79	182	235	
82	PresidentielCPA 325		CC + CC	2.36	353	1.84	205	296	
83		CPA 325	PC+CC+CC	2.37	380	2.00	201	273	
84	CNSS		GC	2.32	421	2.00	280	368	
85	Labo de		PC + GC	2.33	346	1.52	143	212	29

● **Légende des granulats** :

P C : Petits coquillages.
G C C : Gros coquillages concassés.
G C : Gros coquillages.
T V C : Tout venant coquillé.
C C : Coquillages concassés.
P C C : Petits coquillages concassés.

Tous les essais figurant dans ce tableau ont été effectués sur des éprouvettes (ø = 16cm, h = 32cm). Les essais de traction ont été réalisés par fendage.

Les résistances sont données en kg/cm^2.