

## MECANIQUE DES BETONS SOUS CONDITIONS LOCALES : PARAMETRES DE COMPOSITION

Reçu le 13/12/2004 – Accepté le 26/11/2005

### Résumé

L'idée de la constitution d'une banque de données sur les matériaux, les constituants et les bétons de la région de Constantine, est née suite à une large enquête menée auprès de tous les intervenants dans l'acte de construire de la région (entreprises, bureaux d'études et de contrôle, cimentiers, carriers, ...) [1] [2] [3] [4] [5] [6]. Ceci afin de combler un manque quasi-total d'informations sur tous les aspects de la mécanique des bétons. Car le béton est un matériau purement local. Ses propriétés sont étroitement dépendantes des conditions locales (constituants, fabrication, mise en œuvre, conditions climatiques, ...). De plus, le béton ne peut être réduit simplement à sa résistance à la compression à 28 jours, bien que dans la majorité des cas, c'est la seule propriété qu'on retrouve dans les cahiers de charges et les appels d'offres. C'est vrai que c'est une caractéristique incontournable. Pour cela, ce travail lui consacre une grande place. Néanmoins, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques du béton peuvent être plus importantes, telles les propriétés de ses constituants, ainsi que les propriétés à son état frais (squelette granulaire, maniabilité, densité, air occlus, retrait) ayant des incidences directes sur d'évidentes qualités telles la perméabilité et la durabilité [7] [8] [9]. Ce travail rapporte des résultats d'études de ces propriétés, réalisées sur des bétons locaux (ciments, granulats, eau de gâchage, conditions locales de fabrication et de mise en œuvre, ...) dans un contexte régional.

**Mots clés:** Béton. Granulats. Concassé. Roulé. Filler. Matériaux locaux. Conditions locales. Résistance. Compression. Traction. Retrait. Densité. Air occlus. Squelette granulaire. Maniabilité. Rapport E/C.

### Abstract

A large-scale inquiry made before the praticians of Constantine region showed us the need or the common interest to constitute a data base of materials, components and concretes specific to the region [1] [2] [3] [4] [5] [6]. This is to fulfill a want of informations concerning all mechanical aspects of concrete. Because concrete is a local material, its properties depend on local conditions (components, manufacturing, carrying out, climatic conditions). Besides, concrete cannot be reduced to its strength to 28 days compression, however it is the single characteristic specified in "Contract Specifications" and in the "Call for Tenders". It is true that it is a main characteristic that is why this study gives it a great place. But in many practical cases, other properties could be more important, such as characteristics of its components, also the properties of fresh concrete (granular skeletal, workability, density, occluded air and shrinkage) [7] [8] [9]. This survey presents the results of the study of these properties, realized on local concretes, in a regional context.

**Keywords:** Concrete. Aggregate. Broken. Rolled. Filler. Local materials. Local conditions. Strength. Compression. Tensile. Shrinkage. Density. Occluded air. Granular skeletal. workability. Ration water/cement.

S. FERKOUS,  
H. HOUARI,  
S. E. BENSEBTI,  
Z. GUEMMADI.

Laboratoire Matériaux et  
Durabilité des Constructions  
(LMDC)  
Université Mentouri,  
Constantine.  
Algérie

### ملخص

تحقيق واسع مع مهنيي منطقة قسنطينة أشعرتنا بالحاجة أو بالمصلحة المشتركة لتكوين بنك معلوماتي خاص بالمواد، المكونات و أنواع الخرسانة الخاصة بالمنطقة. و هذا لسد النقص شبه التام للمعلومات الخاصة بكل ظواهر ميكانيك الخرسانة؛ لأنّ الخرسانة تعتبر مادة محلية تماما و خصائصها جد مرتبطة بالظروف المحلية (المكونات، طرق الصنع، تخطيط، مباشرة العمل، الظروف الجوية ...) و بالإضافة إلى هذا لا يمكن أن تختصر الخرسانة على مقاومتها للضغط برغم أهميتها حتى أصبحت في أغلب الأحيان الخاصة الواحدة المذكورة في دفاتر الإلتزامات و الإعلانات الخاصة بالمناقصات. هو صحيح أنّها خاصية حتمية، و لهذا السبب منحناها قسطا وافرا في عملنا هذا. إلا أنّ في حالات عملية كثيرة هنالك خصوصيات أخرى للخرسانة قد تكون أكثر أهمية كخصوصيات مكوناتها و خصوصياتها في حالتها الغضبية (الهيكال الحبيبي، طواعيتها، الكثافة، الهواء المحجوز، الإنكماش). هذا العمل ينقل نتائج حول هذه الخواص من دراسات أجريناها على أنواع الخرسانات المحلية و بمواد محلية.

**الكلمات المفتاحية:** الخرسانة. حصى. ظروف محلية. مقاومة. ضغط. شد. إنكماش. كثافة. هواء محجوز. هيكال حبيبي. طواعية. النسبة ماء/اسمنت.

Mélange de granulats, d'un liant hydraulique et d'eau, le béton est fabriqué en faisant appel aux ressources locales ; ses propriétés varient largement avec sa formulation, l'incorporation éventuelle d'additifs et d'adjuvants, les conditions de mise en œuvre et les conditions de maturation ; les effets du temps et de l'environnement sont considérables, aussi bien pour l'évolution de sa résistance au jeune âge que pour ses caractéristiques à long terme sous différentes sollicitations.

Faudrait-il préciser que le béton ce n'est pas seulement sa résistance à la compression, aussi importante soit-elle, par la grande place qu'elle occupe, au point que souvent c'est la seule propriété mentionnée dans les cahiers de charges et appels d'offres. Car, dans de nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques du béton peuvent en fait être plus importantes. Il s'agit de propriétés étroitement dépendantes de conditions purement locales, telles les propriétés de ses constituants, ainsi que les propriétés à son état frais (maniabilité, densité, air occlus, retrait) [4] [5] [6]. Des propriétés ayant des incidences directes sur d'évidentes qualités non moins importantes, telles la perméabilité et la durabilité.

Dans un passé récent on se contentait d'un schéma simple, qui partait d'une formulation donnée de béton pour déduire ses caractéristiques physiques et mécaniques, pour ensuite obtenir le comportement de la structure en se basant sur des modèles empiriques, de nos jours le problème se pose très souvent de manière inverse : pour un type d'ouvrage donné, il faut d'abord identifier les phénomènes majeurs limitants, pour ensuite formuler le béton adapté à ces problèmes. La résolution de ce problème inverse ne peut se satisfaire de modèles empiriques, elle exige une identification des phénomènes physiques et une modélisation au travers de lois de comportement, ainsi que des programmes de recherche continue dans le domaine (figure 1).

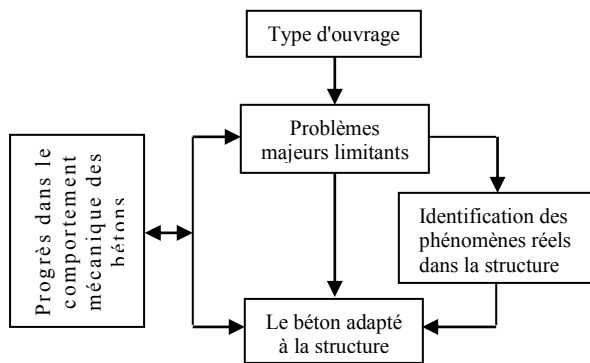


Figure 1 : Démarche adoptée de nos jours

Dans le but de combler un manque quasi-total d'informations sur ces aspects de la mécanique des bétons propres à la région, un vaste programme expérimental sur des matériaux locaux a été mené ces dernières années au sein du laboratoire LMDC, en vue de cerner certains phénomènes restés jusque là méconnus, établir une banque de données relative à un matériau local rassemblant des constituants d'origines variées et destiné à fonctionner dans les environnements les plus divers, mais surtout la recherche de points de repère de l'évaluation du comportement mécanique et la compréhension des phénomènes et mécanismes associés dans un contexte algérien.

Ce programme expérimental qui n'a pas l'ambition d'étudier tous les phénomènes qui sont nombreux, s'attachera aux aspects les plus importants et permettra d'avoir une vision globale sur la mécanique des bétons de la région.

Le premier sujet abordé dans cet article concerne la question qui se pose encore aujourd'hui devant la grande variété des choix offerts mais surtout devant un manque d'informations sur les produits disponibles dans la région : quels bétons choisir, quels constituants utiliser ? Quels sont les comportements ou les propriétés des divers bétons qu'on peut confectionner avec les matériaux locaux disponibles ?

Ce premier aspect se penche donc sur l'étude d'une variété de bétons courants confectionnés tous à partir de matériaux de la région ou selon les pratiques en usage et bien installées.

Les propriétés des bétons à leur état frais, et leurs propriétés à leur état durci sont donc étudiées.

Le problème posé consiste à choisir des granulats, un liant, d'éventuelles additions fines et de les proportionner afin qu'ils puissent donner avec une quantité d'eau bien étudiée un béton homogène et qui conserve cette homogénéité pendant le transport et la mise en œuvre, ceci pour ce qui concerne la rhéologie des bétons. Dans ce thème, nous avons donc réalisé une variété de bétons à base de granulats couramment utilisés dans la région (concassés, roulés, combinaison des deux), en vue de déterminer dans un premier temps le squelette granulaire le plus convenable, puis d'étudier l'influence du rapport E/C sur les performances des différents bétons.

Le deuxième aspect analysé est dicté par la large utilisation des granulats calcaires concassés de la région vers lesquels est vouée une grande méfiance par rapport aux éléments fins contenus dans les sables et leurs actions sur les propriétés du béton frais et durci. Une étude des performances des bétons à l'état frais et à l'état durci, en se penchant sur l'influence de la teneur en fillers (sables à teneur variable) et celle du type de granulats y est consacrée.

1. MATERIAUX DE BASE - EXPERIMENTATION

1.1 Ciment

Un seul type de ciment est utilisé, dénommé CPJ 45 de la cimenterie Hamma Bouziane (ERC Est), norme NA442, dont l'ajout principal est le calcaire. Les propriétés physiques, chimiques et mécaniques sont présentées dans les tableaux I, II et III.

Tableau I : Composition chimique du ciment (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
27	6.13	3.11	55.86	0.96	2.02
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Chlorures	CaO libre	Insolubles	
-	-	0.00	0.88	2.17	

Tableau II : Composition minéralogique du ciment (%)

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
56.60	22.98	9.87	8.25

Tableau III : Caractéristiques mécaniques du ciment

Résistance à la compression (MPa)			Résistance en flexion (MPa)		
2 jours	7 jours	28 jours	2 jours	7 jours	28 jours
14.19	27.15	44.12	3.62	5.98	7.83

1.2 Eau de gâchage

Pour la confection des différents bétons, nous avons utilisé l'eau du robinet dont les résultats de l'analyse chimique sont présentés dans le tableau IV et répondent aux prescriptions de la norme NF P18 404.

**Tableau IV :** Composition de l'eau de gâchage (mg/l)

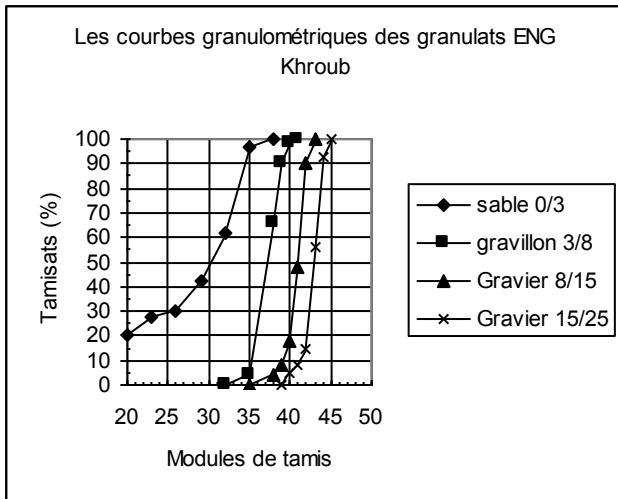
Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>
116	36	80	3	140	170
CO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Insolubles	T(°C)	pH	
305	5	786	19	7.9	

**1.3. Granulats**

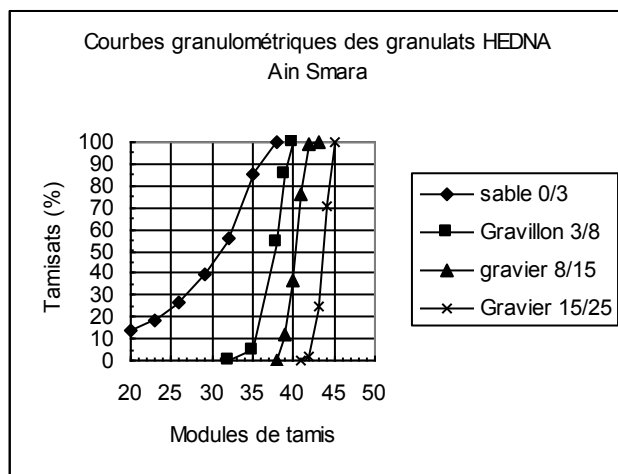
**a) Granulats concassés**

Les granulats utilisés proviennent de deux grandes carrières de la région de Constantine, en l'occurrence la carrière géante ENG du Khroub et la carrière Hedna de Ain Smara. Ce choix est dicté par le fait que ce sont ces deux carrières qui approvisionnent principalement la région de part leur importance en production [1].

Ces granulats sont des matériaux concassés et sont commercialisés en tant que classes granulaires : du sable 0/3 et des gravillons de classes 3/8, 8/15 et 15/25. Les résultats des analyses granulométriques sont représentés sur les figures 2 et 3.



**Figure 2 :** Courbes granulométriques du sable et des graviers ENG Khroub

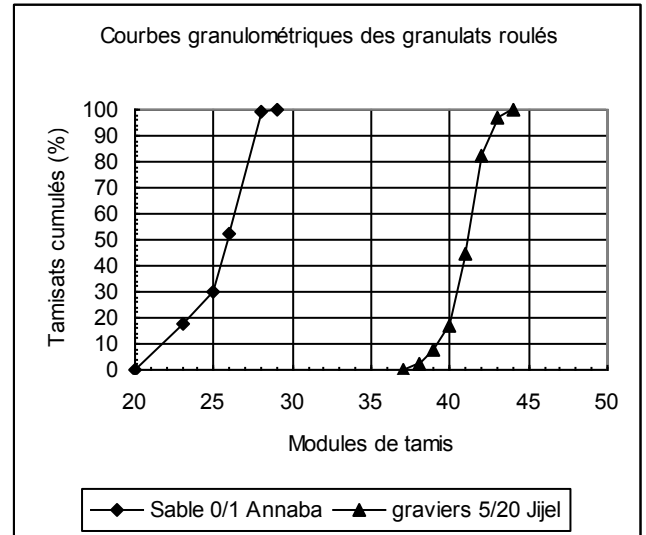


**Figure 3 :** Courbes granulométriques du sable et des graviers HEDNA Ain Smara

**b) Granulats naturels roulés**

Deux types de granulats naturels roulés sont utilisés dans notre étude : du sable de mer 0/1 provenant de Annaba et des graviers 5/20 d'oued provenant de Jijel, dont les courbes granulométriques sont représentées en figure 4.

Les propriétés physiques des sables et gravillons utilisés sont représentées dans le tableau V.



**Figure 4 :** Courbes granulométriques du sable de mer 0/1 Annaba et graviers d'oued 5/20 Jijel

**Tableau V :** Propriétés physiques des sables et des gravillons utilisés

Provenance	Classe granulaire	Masse Volumique (t/m <sup>3</sup> )		Module de finesse	ESV
		absolue	apparente		
ENG Khroub	0/3	2.65	1.56	2.70	79
	3/8	2.57	1.36	---	---
	8/15	2.58	1.35	---	---
	15/25	2.60	1.34	---	---
HEDNA Ain Smara	0/3	2.57	1.55	2.57	80
	3/8	2.62	1.43	---	---
	8/15	2.63	1.44	---	---
	15/25	2.64	1.39	---	---
Sable de mer Annaba	0/1	2.75	1.42	1.3	95
Gravier d'Oued Jijel	5/20	2.79	1.43	---	---

**1.4. Fillers**

Les fillers utilisés composés d'éléments fins passant à un tamis de mailles 80 µm sont de nature calcaire provenant de la carrière ENG Khroub très peu actifs (indice d'activité 0.50). La surface Blaine est 5450 cm<sup>2</sup>/g.

Dans les tableaux VI et VII sont représentées la composition chimique et les propriétés physiques des fillers utilisés, dans le tableau VIII, sont représentés les modules de finesse des sables reconstitués à l'aide des fillers.

**Tableau VI :** Composition chimique des fillers calcaires ENG Khroub

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Perte au feu	pH
0.06	0.09	0.02	99	0.01	0.01	43.8	9

**Tableau VII :** Propriétés physiques des fillers calcaires ENG Khroub

Poids spécifique	Densité apparente	Blancheur	Prise d'huile	Humidité
2.7 kg/l	1.23	92%	18%	0.1%

**Tableau VIII :** Modules de finesse des sables reconstitués

Teneur en fillers (%)		0	5	10	15	20
Module de finesse	Sable ENG	3.1	2.8	2.6	2.5	1.8
	Sable Hedna	2.6	2.5	2.45	2.4	2.3

### 1.5 Mélanges de bétons réalisés

Plusieurs bétons sont réalisés (Tableau IX).

La composition de base des bétons utilisée est celle de Dreux-Gorisse [10] [11] [12]. Le dosage en ciment est pris égal à 350 kg/m<sup>3</sup>, pour tous les bétons.

Les trois bétons B1, B2 et B3 sont réalisés en utilisant des gravillons provenant de la carrière ENG Khroub. Pour le sable, on a utilisé celui de la carrière ENG Khroub préalablement lavé et dépourvu des éléments fins d'origine inférieurs à 80 µm et auquel on a rajouté différents pourcentages de fillers (du sable reconstitué: sable + fillers) pour B1 et B2, et du sable HEDNA Ain Smara soumis au même traitement pour B3. Pour chacun des bétons on a pris différentes teneurs en fillers (0, 5, 10, 15 et 20%), soit au total 18 mélanges si on compte les 3 mélanges témoins réalisés avec les sables bruts non traités des deux sites. Les bétons B1 et B3 sont à granulométrie continue, tandis que le béton B2 est à granulométrie discontinue (sans classe granulaire 8/15). Tous ces mélanges réalisés par la méthode Dreux-Gorisse à maniabilité constante sont destinés pour l'étude de l'influence des fillers sur certaines propriétés des bétons.

Le béton B5 réalisé à base de granulats concassés (carrière HEDNA Ain Smara), est un mélange de quatre classes granulaires (0/3, 3/8, 8/15 et 15/25).

Le béton B6 réalisé à base de granulats concassés, un mélange binaire (0/3 et 8/15). Le béton B7 réalisé à base de granulats roulés, un mélange binaire (0/1 et 5/20). Et enfin, le béton B8 à base d'un mélange de sable (0/3 concassé + 0/1 roulé) et graviers concassés (8/15). Pour la confection des bétons B5, B6, B7 et B8, les granulats concassés proviennent de la carrière HEDNA.

Nous avons réalisé plusieurs compositions pour les bétons B5, B6, B7 et B8, en faisant varier le rapport (Gros granulats/ Granulats fins ou le rapport G/S) ; les valeurs sont G/S = 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2, 2.4. Le dosage en eau étant gardé constant, nous avons réalisé au total 36 mélanges (9 mélanges par type de béton).

**Tableau IX :** Granulats utilisés pour la confection des différents bétons

Provenance des granulats	Bétons						
	B1	B2	B3	B5	B6	B7	B8
ENG Khroub	0/3	x	x				
	3/8	x	x	x			
	8/15	x		x			
	15/25	x	x	x			
Hedna Ain Smara	0/3			x	x	X	x
	3/8				x		
	8/15				x	X	x
	15/25				x		
Annaba	0/1					x	x
Jijel	5/20					x	
Fillers	< 80µm	x	x	x			

Dans une deuxième étape, et après optimisation des compositions granulaires, nous avons étudié l'influence du rapport E/C sur quelques propriétés des bétons à l'état frais et durci. Des mélanges ont été réalisés avec des valeurs E/C=0,40 ; 0,50 ; 0,55 ; 0,60 ; 0,65 et 0,70. Ce sont les bétons B51, .....B56, B61 ..... B66, B71 .....B76 et B81....B86 ; c'est-à-dire pour chacun des bétons B5, B6, B7 et B8 on a réalisé six mélanges avec différents rapports E/C (des bétons avec le squelette granulaires G/S optimisé et notés bétons BO).

### 1.6 Expérimentation

La première campagne d'essais comprend deux parties: la première concerne l'optimisation du squelette granulaire des bétons. Les bétons sont formulés dans un premier temps par la méthode Dreux-Gorisse, puis optimisés en utilisant la méthode de Baron-Lesage [13] [14] [15], qui consiste à tester au maniabilimètre une série de formules dont on fait varier un seul paramètre, le rapport des gros granulats aux granulats fins " G/S ". Ensuite on adopte la formule qui présente le meilleur temps mesuré au maniabilimètre LCL ou encore le temps le plus court. Dans la deuxième partie de la campagne d'essais, les bétons sont formulés sur la base des squelettes granulaires optimisés précédemment, en réalisant plusieurs mélanges en faisant varier le rapport E/C pour chaque type de béton (E/C = 0.40, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70). Parmi les propriétés étudiées nous ne présentons que les résultats concernant les résistances en compression et en traction par flexion à 7 et 28 jours.

La deuxième campagne d'essais concerne l'étude de l'influence des fillers sur les propriétés des bétons. Plusieurs bétons ont été formulés en utilisant du sable lavé et tamisé à 80 µm auquel on introduit des fillers en différentes proportions (0, 5, 10, 15 et 20%). L'eau de gâchage est calculée de sorte à obtenir un affaissement au cône d'une valeur voisine de 10 cm.

Les éprouvettes confectionnées : (16 x 32 cm) pour les essais de compression ; (7 x 7 x 32 cm) pour les mesures de variations dimensionnelles et massiques en fonction du temps et les essais de traction/flexion.

Les mesures sur béton frais (affaissement au cône, temps LCL, masse volumique, air occlus) et la confection des éprouvettes sont réalisées simultanément dès la fin du malaxage et en conditions contrôlées (20° C, 65 % HR). Le béton est mis en place sur table vibrante. Après démoulage

à 24 heures, les éprouvettes sont conservées dans une salle à  $20 \pm 1^\circ \text{C}$  dans une atmosphère saturée et humide (salle de conservation du laboratoire).

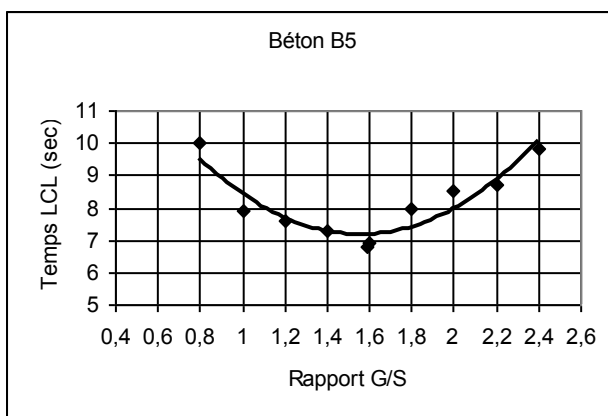
## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les informations obtenues sont nombreuses et il n'est pas possible de les synthétiser en quelques lignes dans le cadre de cet article. De plus, les incertitudes de mesure ne permettent pas toujours de trancher clairement. Les résultats bruts sont présentés dans les détails ailleurs (PFE, Magisters, Rapports internes du laboratoire) et nous nous contenterons ici d'en rappeler les conclusions mais avec une vision plus large et beaucoup plus globale.

### 2.1 Influence du squelette granulaire G/S sur la maniabilité des bétons

Les mesures de maniabilité effectuées ne sont pas faites en vue d'une éventuelle comparaison des différents bétons entre eux, car les quantités d'eau introduites sont différentes. Mais ces mesures permettent une appréciation de chaque type de béton séparément, et ce en fonction du rapport G/S.

Le comportement du béton B5 représenté sur la figure 5, se caractérise par un optimum très clair et assez pointu correspondant à la valeur  $G/S = 1.6$ , et qui offre le meilleur temps LCL (7 secondes) pour un dosage en eau gardé constant. Par ailleurs, le rapport  $G/S = 1.6$  obtenu correspond à la tendance actuelle qui est celle sacrifiant légèrement la résistance au profit de l'ouvrabilité (valeurs entre 1.5 à 1.6) [10]. C'est un mélange continu contenant toutes les classes granulométriques, le module de finesse du sable utilisé étant considéré correct ( $MS = 2.57$ ). On notera aussi que la courbe obtenue est assez étendue entre les valeurs de  $G/S$  comprises entre 1.2 et 2.0, offrant ainsi un large choix de proportions graviers/sable correspondant à des temps LCL intéressants (7 à 8 secondes).

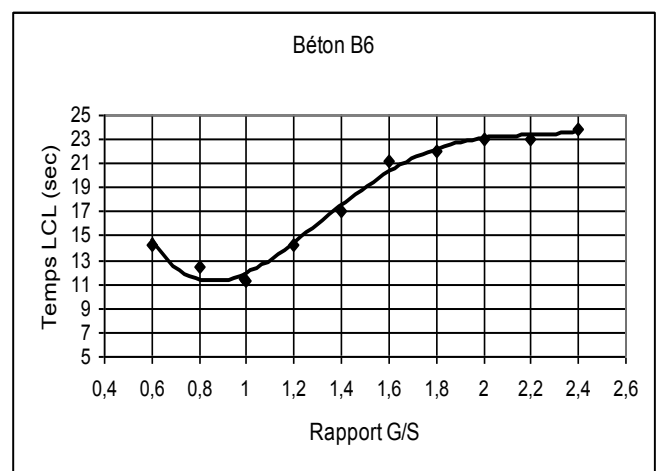


**Figure 5 :** Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B5 (à base de granulats concassés)

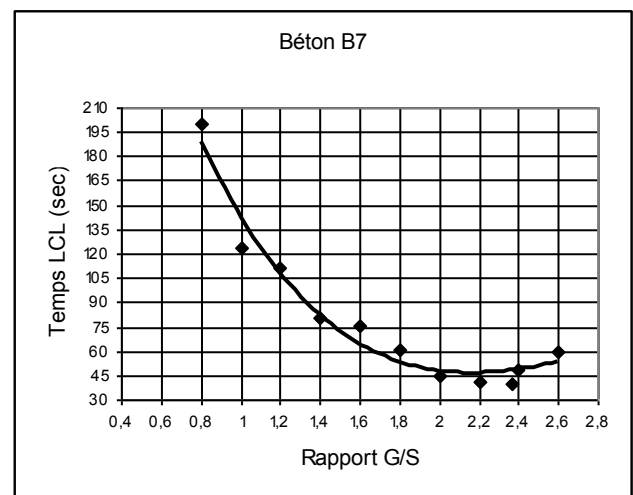
Le béton B6 est obtenu par un mélange binaire de granulats concassés (sable 0/3 et gravillons 8/15). La courbe obtenue présente une double courbure avec un temps LCL minimum (11 secondes) correspondant à la

valeur  $G/S = 1$  (figure 6). C'est un mélange offrant un champ de possibilités de choix de rapports G/S assez réduit. Ceci est probablement dû au fait de la discontinuité du mélange qui chercherait à réduire sa porosité globale par un volume d'éléments fins plus important (ici les valeurs G/S présentant les meilleurs temps LCL sont inférieures à 1).

Le béton B7 est un mélange de deux classes granulaires (0/1 et 5/20) à base de granulats roulés. La valeur optimale correspond à  $G/S = 2.37$  obtenue pour un temps LCL égal à 40 secondes (figure 7). C'est un béton sec avec une mauvaise ouvrabilité. Ceci est probablement dû à la qualité médiocre du sable utilisé qui est un sable trop fin (module de finesse égal à 1.3) situé en dehors des fuseaux préférentiels recommandés [10].



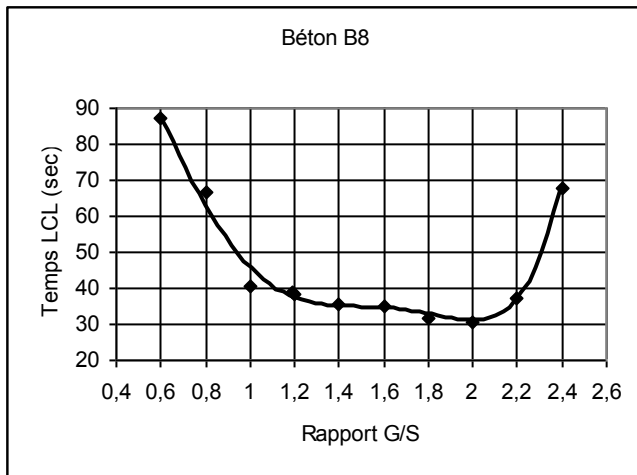
**Figure 6 :** Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B6 mélange binaire à base de granulats concassés



**Figure 7 :** Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B7 à base de granulats roulés

Pour le béton B8 obtenu à base d'un mélange de granulats concassés et roulés (sable 0/1, sable 0/3 et gravillons 8/15), le rapport optimum  $G/S = 2$  correspond à

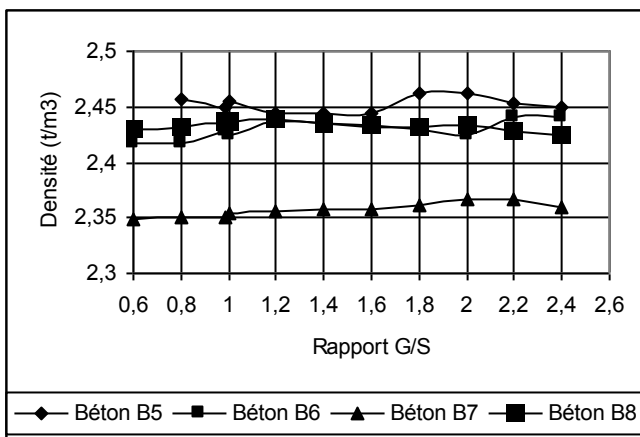
un temps LCL égal à 30 secondes. La courbe correspondante (figure 8) est étendue entre les valeurs G/S comprises entre 1 et 2.2 correspondant à des temps LCL compris entre 30 et 40 secondes. Néanmoins, la valeur du temps LCL 30 secondes constitue la limite supérieure relative à la qualité de l'ouvrabilité [10]. Probablement ce sont les éléments trop fins, gros consommateurs d'eau qui sont à l'origine de la médiocrité de l'ouvrabilité des bétons obtenus. Le choix de possibilités du rapport G/S se trouve donc très restreint.



**Figure 8 :** Influence du rapport G/S sur la maniabilité LCL des bétons B8 mélange binaire à base de granulats concassés et roulés

### 2.2. Influence du squelette granulaire G/S sur la densité des bétons

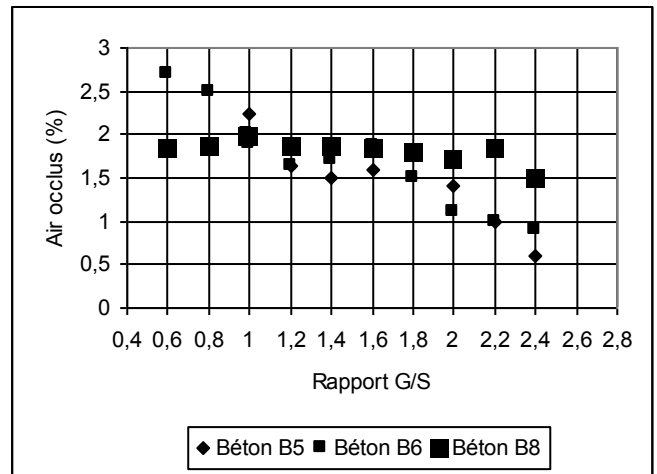
On remarquera (figure 9) que la densité varie peu avec le rapport G/S, et ne peut en réalité informer sur le mélange optimal pour une composition de béton. Néanmoins, on note que le béton confectionné avec les granulats roulés présente des densités inférieures à celles des autres bétons. Ceci est probablement dû au mauvais arrangement des granulats de grosseurs très différentes (sable 0/1 et gravillons 5/20) et aux vides existants entre eux.



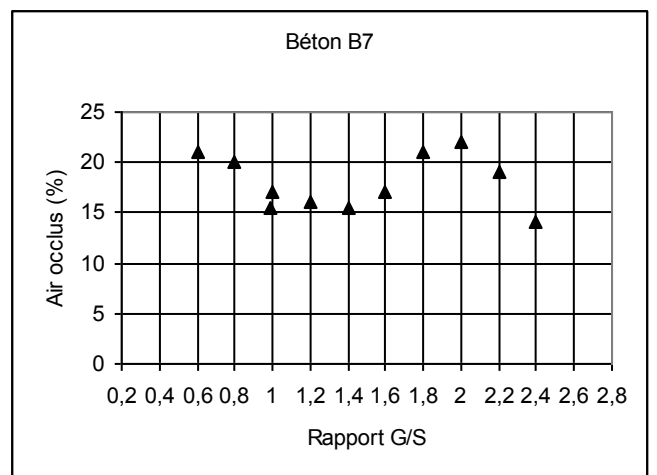
**Figure 9 :** Influence du rapport G/S sur la densité des bétons

### 2.3. Influence du squelette granulaire G/S sur le pourcentage d'air occlus

Les pourcentages d'air occlus contenus dans les différents bétons en fonction des rapports G/S sont présentés sur les figures 10 et 11. Pour les bétons B5, B6 et B8, le pourcentage d'air occlus diminue sensiblement avec l'augmentation du rapport G/S. Cette diminution, si elle est bien prononcée pour les bétons B5 et B6, au contraire elle n'est pas claire pour les bétons B8. Pour les bétons B7 les mesures donnent des pourcentages d'air occlus très élevés. La variation présente une double courbure. Elle diminue entre les rapports G/S compris entre 0.50 et 1, se stabilise jusqu'à 1.5 puis augmente jusqu'à la valeur 2, et diminue entre 2 et 2.5 (valeurs de G/S). Ces valeurs sont en accord avec celles obtenues pour les densités des bétons.



**Figure 10 :** Influence du rapport G/S sur le pourcentage d'air occlus des bétons B5, B6 et B8



**Figure 11 :** Influence du rapport G/S sur le pourcentage d'air occlus du béton B7

### 2.4. Influence du rapport E/C sur la résistance en compression

Les résistances en compression des bétons à 7 et 28 jours, mesurées sur cylindres (16 x 32 cm), sont présentées sur les figures 12 et 13. Les bétons BO5, BO6 et BO7 présentent des comportements similaires. Des optimums

sont notés pour chacun des bétons ( $E/C = 0.55$  pour BO5 et BO6 ;  $0.65$  pour BO7 ;  $0.40$  pour BO8). Par ailleurs, on remarque que tous les bétons étudiés présentent presque la même résistance (inférieure à 20 MPa) pour des valeurs voisines du rapport  $E/C = 0.70$ . Les meilleures résistances sont données pour les rapports  $E/C = 0.50$  et  $0.55$  (supérieures à 20 MPa), tandis que la meilleure performance est donnée par le béton BO8 ( $R_c = 32$  MPa pour  $E/C = 0.4$ ).

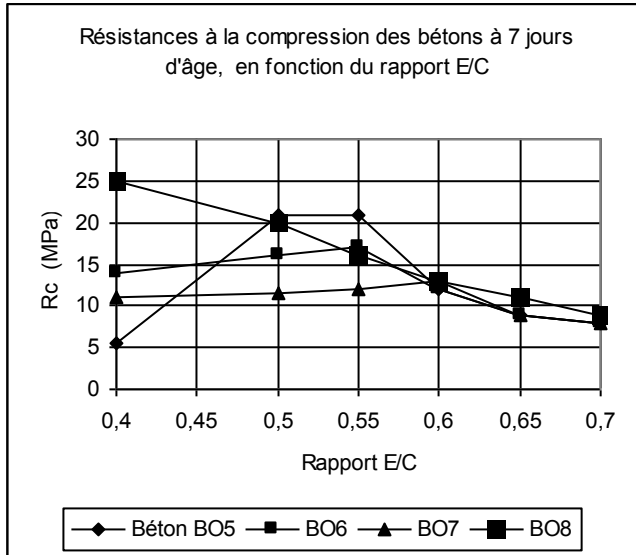


Figure 12 : Influence du rapport  $E/C$  sur les résistances en compression des bétons à 7 jours d'âge

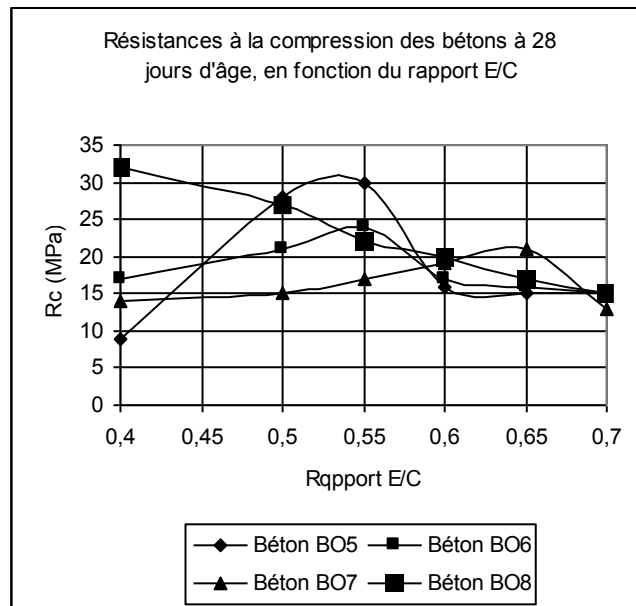


Figure 13 : Influence du rapport  $E/C$  sur les résistances en compression des bétons à 28 jours d'âge

On observe que pour le béton BO7, quel que soit le rapport  $E/C$ , on a des résistances très faibles (inférieures à 20 MPa). Ceci est en accord avec les résultats relatifs aux densités et aux pourcentages d'air occlus obtenus. Ces résultats s'expliqueraient par la mauvaise liaison entre les granulats roulés manquant de rugosité et la pâte de ciment.

La liaison étant engendrée en partie par l'imbrication des granulats et de la pâte de ciment hydratée [8].

Néanmoins, faut-il encore observer que pour le béton BO5, la courbe en cloche avec maximum entre les valeurs  $E/C = 0.50$  et  $0.55$ , renseigne que le béton confectionné avec  $E/C = 0.40$  est un béton insuffisamment serré car il déroge à la règle générale bien établie que la résistance à la compression est une fonction décroissante du rapport  $E/C$ , selon Duff Abrams et René Férét cités dans [8].

## 2.5 Influence du rapport $E/C$ sur la résistance en traction

Les figures 14 et 15 présentent les mesures des résistances en traction par flexion sur éprouvettes prismatiques ( $7 \times 7 \times 28$  cm), des bétons à 7 et 28 jours d'âge, pour différents rapports  $E/C$ . Pour chacun des bétons étudiés, l'évolution des résistances en traction pour les deux échéances d'âge est presque la même.

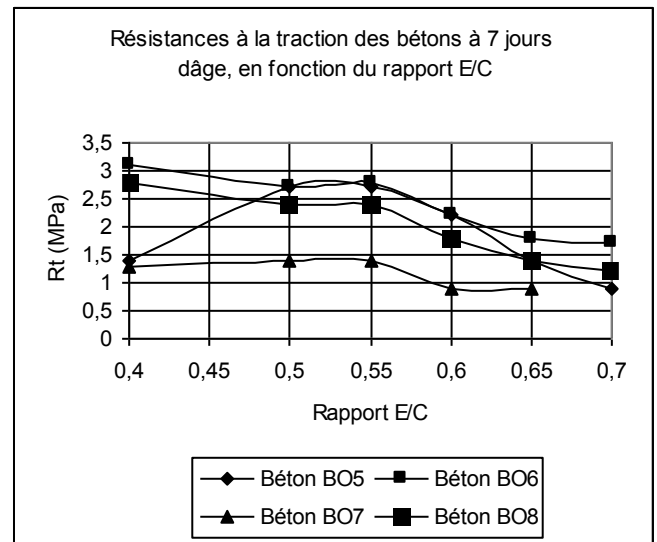


Figure 14 : Influence du rapport  $E/C$  sur les résistances en traction des bétons à 7 jours d'âge

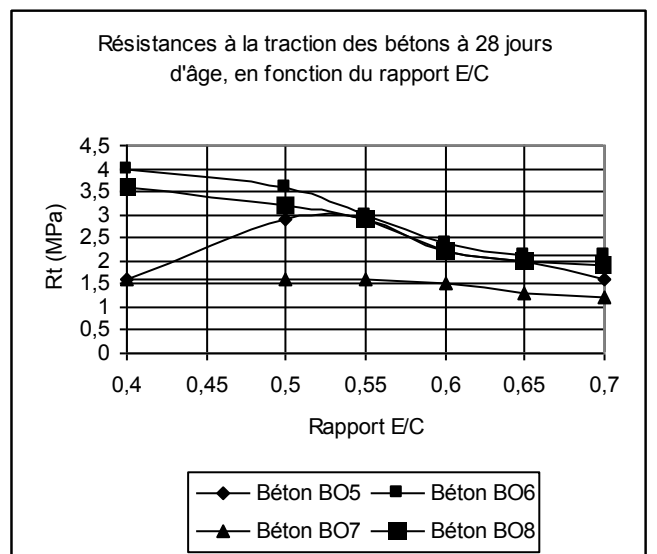


Figure 15 : Influence du rapport  $E/C$  sur les résistances en traction des bétons à 28 jours d'âge

En ce qui concerne les bétons BO6 et BO8, la résistance en traction diminue avec l'augmentation du rapport E/C, avec des valeurs maximales pour E/C = 0.40. Ce qui est en accord avec les résultats habituellement obtenus pour des bétons courants ; il en est presque de même pour le béton BO7, néanmoins la pente est presque plate sauf au-delà de E/C = 0.60. Le béton BO5 présente le même phénomène de serrage cité en ce qui concerne les résistances en compression (courbe en cloche). Les valeurs optimales obtenues à 28 jours d'âge varient entre 3 et 4 MPa pour les rapports E/C = 0.40 à 0.55, sauf pour le béton BO7 où la valeur maximale est de 1.6 MPa obtenue pour E/C = 0.40 à 0.60. Ce qui est en accord avec les résultats des résistances en compression.

## 2.6 Influence de la teneur en fines sur le rapport E/C

On constate que pour les trois bétons étudiés B1, B2 et B3, la quantité d'eau de gâchage augmente avec l'augmentation de la teneur en fillers. Le dosage en eau est une fonction croissante de la teneur en fillers jusqu'à des teneurs de l'ordre de 15 %, puis devient décroissante au-delà de cette valeur (figure 16). Cette constatation reste valable quelle que soit l'origine du sable. Ceci peut s'expliquer par le fait que les fines ont une surface spécifique très grande, ce qui forme une microstructure colloïdale qui retient l'eau jusqu'à la valeur de 15 %. Au-delà de cette valeur les fines joueront plutôt un rôle de fluidifiant [16]. On doit signaler par ailleurs que les bétons confectionnés avec du sable brut demandent un peu plus d'eau que ceux confectionnés avec du sable reconstitué ayant la même teneur en fillers. Ceci s'expliquerait probablement par le fait que les sables bruts utilisés ne sont pas lavés et contiendraient des impuretés consommatrices d'eau.

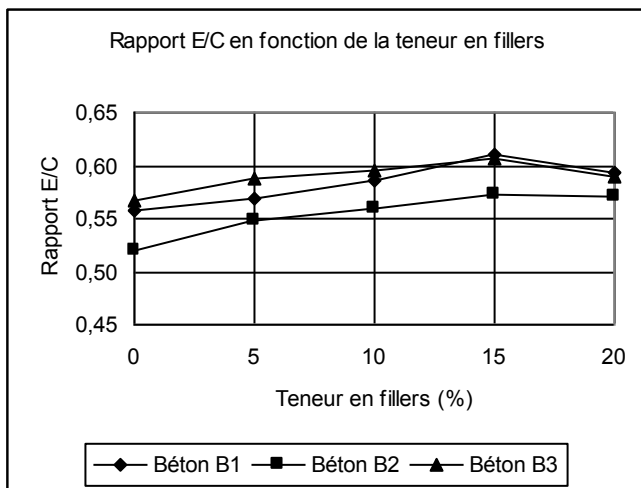


Figure 16 : Rapport E/C en fonction de la teneur en fillers donnant un affaissement au cône de 10 cm

## 2.7 Influence de la teneur en fines sur la densité des bétons

Les valeurs obtenues sont assez basses et varient entre 2.2 et 2.45 t/m<sup>3</sup>, ce qui se traduit probablement par une porosité élevée des bétons. On constate que la densité réelle

du béton augmente jusqu'à la teneur en fillers 15 %, puis diminue mais plus lentement. La compacité optimale est obtenue entre 10 et 15 %.

## 2.8 Influence de la teneur en fines sur le pourcentage d'air occlus dans les bétons

On constate qu'en général, le pourcentage d'air occlus diminue de 0.5 à 1 % avec l'utilisation des fillers jusqu'à 15 %. Mais reprend au-delà de cette valeur. L'optimum est atteint pour la valeur 15 %. Ce qui est en accord avec les résultats obtenus des densités des bétons. Par ailleurs, on notera que les bétons confectionnés avec du sable brut ont un pourcentage d'air occlus plus faible.

## 2.9 Influence de la teneur en fines sur la résistance à la compression des bétons

On constate que les résistances à la compression augmentent avec le pourcentage des teneurs en fillers et passent par un extremum pour 15 % de fillers environ, et ce, quel que soit le béton et le temps du durcissement. Au-delà de la teneur en fillers de 15 %, les résultats s'inversent et diminuent plutôt rapidement. Des résultats en accord avec ceux trouvés précédemment et relatifs à la compacité. Néanmoins, on constate que l'augmentation des résistances reste inférieure à 18 % dans tous les cas étudiés (figure 17).

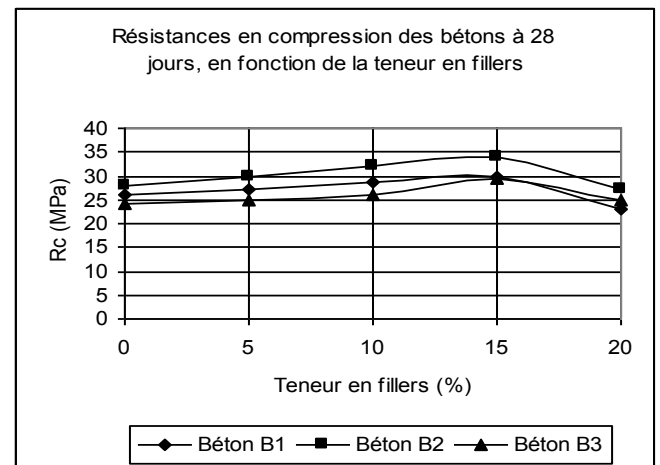


Figure 17 : Résistances en compression des bétons à 28 jours, en fonction de la teneur en fillers

## 2.10 Influence de la teneur en fines sur la résistance en traction des bétons

Pour les résistances obtenues en traction par flexion, on a constaté que l'influence des fillers est moindre qu'en compression. Les meilleures résistances sont obtenues avec les bétons de granulométrie discontinue.

## 2.11 Influence de la teneur en fines sur le retrait des bétons

Le dosage en fines augmente le retrait du béton qui peut atteindre des valeurs triples de celui d'un béton sans fines.

Ce résultat est probablement lié à une distribution et aux tailles des vides différentes entre les deux matériaux, à leur distribution ainsi qu'à une augmentation du volume de



pâte. Le retrait des bétons de granulométrie continue présente un retrait supérieur d'environ 35 % par rapport à celui des bétons de granulométrie discontinue (figure 18).

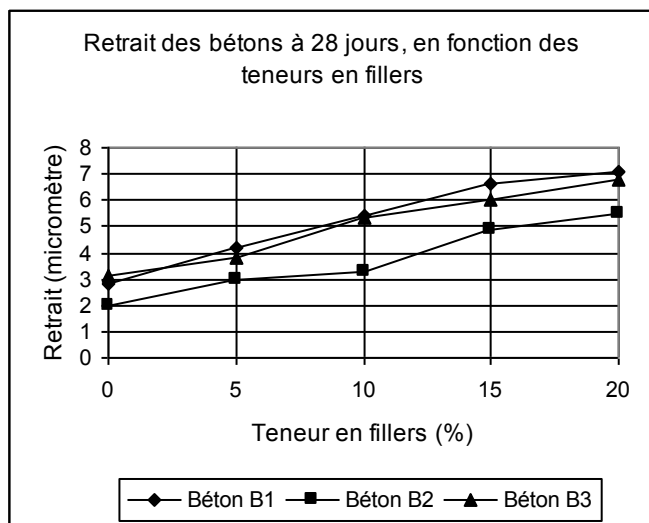


Figure 18 : Retrait des bétons à 28 jours, en fonction de la teneur en fillers

## CONCLUSIONS

Ce travail constitue une partie des résultats des recherches menées au LMDC dans le cadre de nombreux projets de recherche, entre autres, celui intitulé : "Mécanique des bétons sous conditions locales" (années 2000 à 2003). Dans le domaine des matériaux, il s'agit bien d'un thème essentiel que nous avons voulu spécialement orienter vers les besoins de la profession.

Le début c'était une vaste enquête auprès des praticiens, au cours de laquelle nous avons senti le besoin ou l'intérêt commun de constituer une sorte de banque de données sur les matériaux, constituants et bétons propres à la région. Ceci afin de combler un manque quasi-total d'informations sur tous les aspects de la mécanique des bétons.

Cet article, à travers les résultats de la première campagne d'essais portant sur une large variété de bétons (à base de granulats concassés à granulométrie continue, à base de granulats concassés à granulométrie discontinue, à base uniquement de granulats roulés et à base de granulats mixtes concassés- roulés), constitue une des réponses aux attentes des praticiens de la région. Les différents résultats concernant la maniabilité, le squelette granulaire optimum, la densité et le pourcentage d'air occlus, de la variété des bétons, seront sans aucun doute d'un grand intérêt pour des prises de décision quant au choix des matériaux, des formulations, des propriétés des bétons attendues, etc...

Les résultats de la deuxième partie de la même campagne d'essais portant sur une variété de bétons pour lesquels le squelette granulaire est optimisé, renseignent sur certaines propriétés des bétons durcis notamment les résistances en compression et en traction à 7 et 28 jours, et leur évolution en fonction de la quantité d'eau introduite dans le béton.

Les résultats de la deuxième campagne d'essais portant sur l'influence des fillers sur les propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci, viennent à point. Le problème des mauvais bétons se pose encore dans la région. Incrimine-t-on à tort les éléments fins contenus dans les granulats calcaires ? Beaucoup de chercheurs se sont intéressés à ce sujet [16] [17] [18]. Chaque pays possède ses propres normes concernant les pourcentages d'éléments fins admis dans les granulats [19] [20]. Nous ne pouvons rester en marge. Cette étude sur les éléments fins a montré que le béton confectionné avec des granulats calcaires présente une bonne ouvrabilité. Les éléments fins contribuent à la cohésion du béton. Les bétons sans fillers donnent des résistances inférieures que les bétons avec fillers. La teneur optimale en fillers qui permet d'obtenir des résistances mécaniques les plus élevées est de l'ordre de 10 à 15%. Néanmoins, d'autres études sont encore nécessaires.

## Abréviations utilisées

- B : Béton
- BO : Béton avec squelette granulaire G/S optimisé
- ESV : Equivalent de sable à vue
- HR : Humidité relative
- Rapport E/C : rapport Eau/Ciment
- Rapport G/S : rapport Gros granulats / granulats fins
- Rc : Résistance à la compression
- Rt : Résistance à la traction
- sec : seconde
- Temps LCL : temps d'écoulement du béton soumis à une vibration (essai au maniabilimètre)

## REFERENCES

- [1]- Houari H., Chikh N., Ferkous S., Mouatsi M., Chibane M.L., "Contrôle et qualité des bétons : Identification et Caractérisation des Bétons de la région de Constantine", Rapport de recherche N° 2 du projet N° J2501/04/11/95 Cnepru, Université de Constantine, Octobre 1996.
- [2]- Houari H., Chikh N., Ferkous S., Mouatsi M., Chibane M.L., "Durabilité des bétons et utilisation des BRF et du BHP dans la construction et la réhabilitation des ouvrages de génie civil", Rapport de recherche final du projet N° J2501/04/15/98 Cnepru, Université Mentouri, Constantine, Octobre 2000.
- [3]- Houari H., Belachia M., Ferkous S., Mouatsi M., "Mécanique des bétons sous conditions locales d'Algérie", Rapport de recherche final du projet N° J2501/04/04/02 Cnepru, Université Mentouri, Constantine, Octobre 2003.
- [4]- Ferkous S., Houari H., Chikh N., Mouatsi M., Chibane M.L., "Enquête sur la maîtrise de la qualité et le contrôle des bétons de la région de Constantine", Actes de la Table Ronde sur la Qualité et le Contrôle des bétons, Université Mentouri, Constantine, 25 Novembre 1997.
- [5]- Ferkous S., Houari H., Chikh N., Mouatsi M., "Durabilité des bétons : constat, causes et remèdes", Actes du Deuxième Séminaire National de Génie Civil, Université Mentouri, Constantine, 24-25 Mai 1999.
- [6]- Chibane M.L., Houari H., Ferkous S., Chikh N., Mouatsi M., "Qualité et contrôle des bétons de la région de Constantine", Publitech SARL, Alger, Algérie, 26- 27 Mars 1996.
- [7]- Baron J., Ollivier J-P, Les bétons : bases et données pour leur formulations, Paris, éditions Eyrolles, troisième tirage, 1999.

- [8]- Neville A.M., "Propriétés des bétons", Editions Eyrollès, 2000.
- [9]- Vénuat M., "La pratique des ciments et des bétons", Editions du Moniteur, 1976.
- [10]- Dreux G. et Festa J., "Nouveau guide du béton", Paris, édition Eyrollès, 1995.
- [11]- Dreux G. et Gorisse F., "Composition des bétons : méthode Dreux-Gorisse, bilan de cinq années d'application en Côte d'Ivoire", Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des Travaux Publics, N° 414, Paris, mai 1983.
- [12]- Gorisse F., "Essais et contrôle des bétons", Paris, éditions Eyrollès, 1978.
- [13]- Baron J., Lesage R., "La composition du béton hydraulique du laboratoire au chantier", Rapport de recherche des LPC N° 64, Paris, décembre 1976.
- [14]- Baron J., Lesage R., "Compacité et maniabilité des bétons hydrauliques", Rapport de recherche des LPC N° 3, Paris, août 1969.
- [15]- Lesage R., "Etude expérimentale de la mise en place du béton frais", Paris, Rapport de recherche des LPC N° 37, Paris, juin 1974.
- [16]- Bertrand R., "Influence des fillers calcaires sur la maniabilité des bétons", Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des Travaux Publics, N° 328, Paris, mai 1975
- [17]- Bertrand R., "Les granulats calcaires dans les mortiers et bétons", Revue scientifique et industrie pont de Saint-Florent, Le vieil N° 400 juillet 1968.
- [18]- Paillere A. M., Raverdy M., "L'influence d'ajouts inertes ou actifs sur les propriétés des ciments", Bulletin de Liaison des LPC N° 90, 1977.
- [19]- Guemmadi Z., "Valorisation des granulats calcaires – Contribution à l'étude du comportement du béton à base de sable calcaire à teneur en fillers variable : conditions locales", Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine (1999), 169 pages.
- [20]- Guemmadi Z., Houari H., "Influence de l'ajout de fines calcaires sur les performances des bétons dans l'Est Algérien", Annales du bâtiment et des Travaux Publics N° 6, Décembre 2002, pp 23-32.
- [21]- Bensebti S.E., "Caractérisation de matériaux à base de matrice cimentaire de la région de Constantine", Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine (2000), pp 123-181.
- [22]- Bensebti S.E., Houari H., "Etude de l'influence de la nature des granulats sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons et des mortiers", Colloque National de Génie Civil, Mostaganem- Algérie 13-14 Novembre 2000, 06 pages.