

## Chapitre 3 : ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 3.1. Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur les mortiers et bétons confectionnés selon les différentes compositions mentionnées en détail dans le chapitre précédent. Ces résultats concernant en première partie le mortier, et en deuxième partie le béton. La résistance et l'ouvrabilité sont à étudier de pair, car ces deux propriétés sont étroitement dépendantes l'une de l'autre et d'autant plus, qu'elles varient en sens inverses en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

On s'intéresse aussi, tout au long de ce chapitre à l'effet d'incorporation de l'ajout de la pouzzolane et d'un adjuvant superplastifiant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers et bétons à l'état frais et durci à base de sable de carrières.

A l'issu de ces résultats, des discussions et des interprétations seront présentées au fur et à mesure.

### 3.2. Propriétés des mortiers frais

#### 3.2.1. Consistance des mortiers frais

Les résultats d'étalement issus de l'essai de l'ouvrabilité des différents mortiers mesurés par la table à secousses sont portés dans le **tableau 3.1**.

**Tableau 3.1** : Etalement des différents types de mortiers.

Type de mortier	E/C	Dosage en Kg/m <sup>3</sup>		
		300	350	400
		Etalement en mm		
Mtm	0,65	120	124	150
MS		103	104	110
MT		104	106	124
ML		105	109	140
MS	0,70	105	106	130
MT		106	108	140
ML		108	117	162
MS	0,75	108	118	152
MT		110	126	160
ML		112	134	172

D'après les **figures 3.1 à 3.3**, on constate que pour tous les types de mortiers, l'ouvrabilité croit en augmentant le dosage en ciment à un rapport E/C constant, et elle croit aussi en

augmentant le rapport E/C à un dosage donné. L'ouvrabilité des différents types de mortiers peut être classé par ordre croissant comme suivant : MS, MT, ML et Mtm. Cela s'explique par la nature du sable utilisé. Le sable d'oued (alluvionnaire) utilisé comme témoin donne au mortier la meilleure ouvrabilité à cause de la forme arrondie ou roulée de ses grains qui confère au mortier frais une maniabilité élevée ; tandis que le sable de carrières donne des mortiers de moindre ouvrabilité du fait de l'angularité de ses grains ainsi qu'à leur forme allongée et le taux plus au moins élevé des particules fines (fillers). Pour les trois types de mortiers (MS, MT, ML), l'ouvrabilité est d'autant plus moindre que le pourcentage des fines est plus important. Notons que le mortier le moins maniable est celui à base de sable de carrières sans modification (MS).

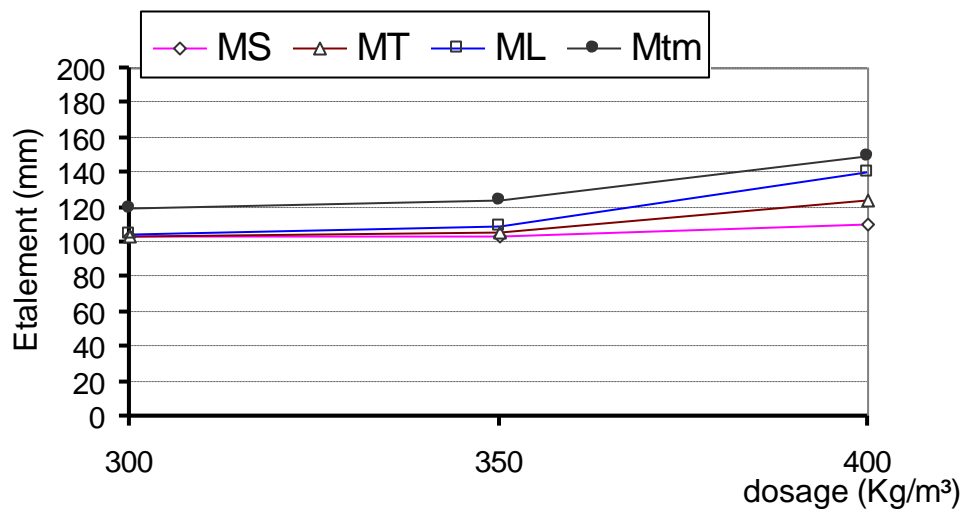


Figure 3.1 : Etalement des différents types de mortier en fonction du dosage pour un rapport E/C 0,65

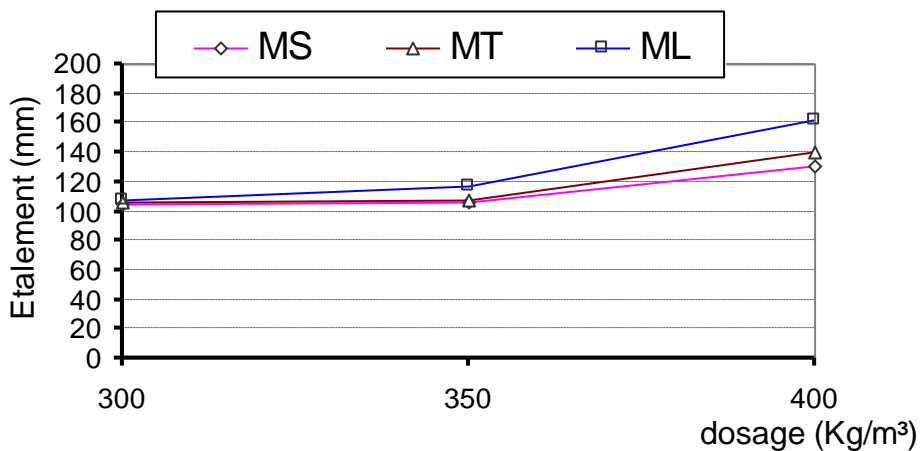
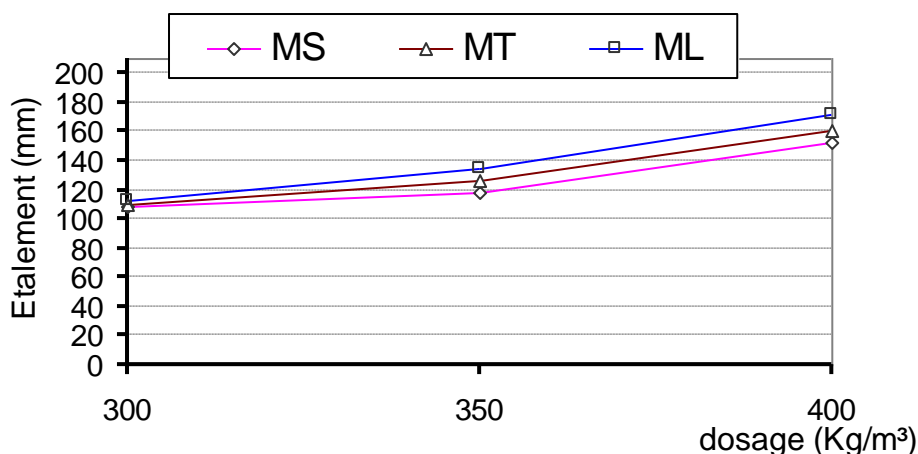


Figure 3.2 : Etalement des différents types de mortier en fonction du dosage pour un rapport E/C 0,70



**Figure 3.3 :** Etalement des différents types de mortier en fonction du dosage pour un rapport E/C 0,75

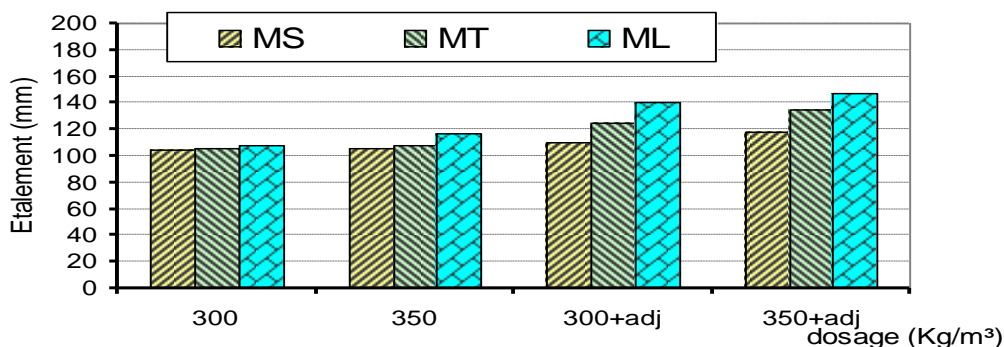
### 3.2.2. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane

Afin d'améliorer l'ouvrabilité des mortiers à base de sable de carrières, on a vu nécessaire d'incorporer un pourcentage de 0.5% d'un adjuvant fluidifiant (superplastifiant) et 10% de la pouzzolane naturelle. Les résultats de cet essai sont illustrés dans le **tableau 3.2** pour le rapport E/C = 0.70 et les dosages en ciment de 300 et 350 Kg/m<sup>3</sup>.

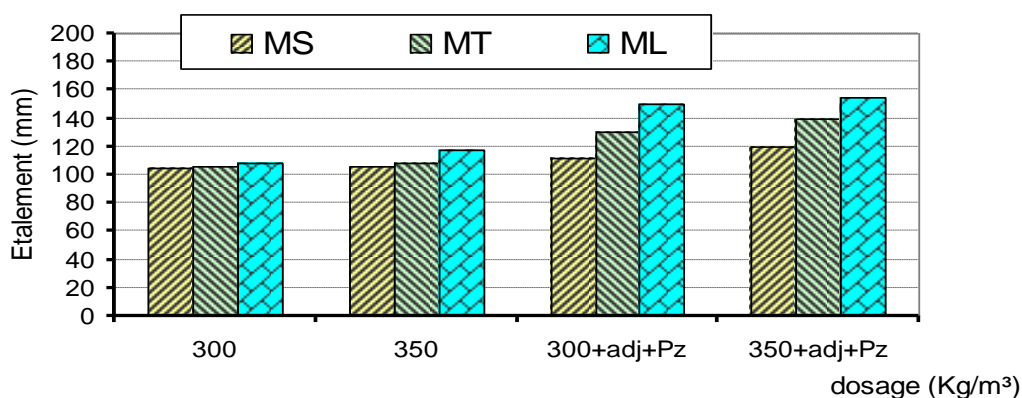
**Tableau 3.2 :** Etalement des différents types de mortiers avec ajouts (adj+Pz) pour E/C=0.70.

Type de mortier	E/C	Dosage en Kg/m <sup>3</sup>	
		300	350
		Etalement en mm	
MS +adj	0,70	110	118
MT+adj		125	135
ML +adj		140	147
MS +adj+Pz		112	120
MT+adj+Pz		130	140
ML+adj+Pz		150	155

D'après la **figure 3.4**, en incorporant du superplastifiant, on remarque une amélioration importante d'ouvrabilité pour les trois types de mortiers adjuvantés à base de sable de carrières, en comparaison avec celle des mêmes mortiers non adjuvantés. Cela est dû à la nature dispersante du superplastifiant qui casse les agglomérats formés par les grains du ciment emprisonnant une certaine quantité d'eau qui n'est plus alors disponible pour donner de l'ouvrabilité au mélange. Le rôle du superplastifiant est donc de casser ces agglomérats pour rendre cette eau disponible. Cependant, pour les mortiers adjuvantés avec pouzzolane à base de sable de carrières, une amélioration de plus a été observé dans leur ouvrabilité selon la **figure 3.5**.



**Figure 3.4 :** Etalement des différents types de mortier adjuvanté (avec superplastifiant) et non adjuvanté pour les dosages de 300 et 350Kg/m³ et avec un rapport E/C 0,70.



**Figure 3.5 :** Etalement des différents types de mortier adjuvanté avec pouzzolane et non adjuvanté sans pouzzolane pour les dosages de 300 et 350Kg/m³ et avec un rapport E/C 0,70.

### 3.3. Propriétés des mortiers durcis

#### 3.3.1. Résistance à la compression

Les résultats des essais de la résistance à la compression pour les différents types de mortiers à différents dosages et rapports E/C sont illustrés dans le **tableau 3.3** suivant.

**Tableau 3.3 :** Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j

Dosage en ciment (Kg/m³)	Rapport E/C	Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j (MPa)			
		Mtm	MS	MT	ML
300	0,65	23,6	29,1	24,8	20,9
	0,70	-	27,7	22,4	17,6
	0,75	-	24,0	16,7	13,3
350	0,65	26,2	33,6	28,0	24,5
	0,70	-	30,2	24,7	21,4
	0,75	-	26,0	19,8	15,5
400	0,65	28,3	36,0	31,5	27,0
	0,70	-	32,5	28,1	24,7
	0,75	-	29,8	23,6	19,5

D'après les figures 3.6 à 3.8, on peut observer que, pour tous les types de mortiers, la résistance à la compression croît en augmentant le dosage en ciment à un rapport E/C constant, et elle croît aussi en augmentant le rapport E/C à un dosage donné. Elle peut être classé par ordre croissant comme suivant : ML, MT, MS pour les mortiers à base de sable de carrières. Cela est dû probablement à l'effet granulaire des fines calcaires contenus dans le sable de carrières à des différents pourcentages, ces fines font densifier le squelette granulaire en remplissant les vides ce qui fait diminuer la porosité, et par conséquent une augmentation de la résistance à la compression. D'autre part, en comparant les résistances des mortiers MS, MT et ML avec le témoin Mtm, on peut conclure que le mortier à base de sable de carrières ne se distingue pas de celui à base de sable d'oued (témoin) du point de vue résistance mécanique.

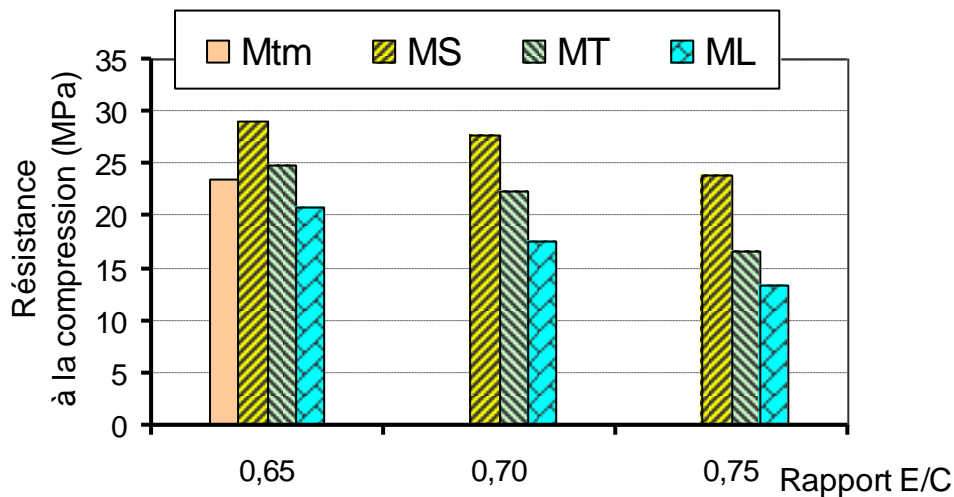


Figure 3.6 : Résistance à la compression des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m³ à 28j

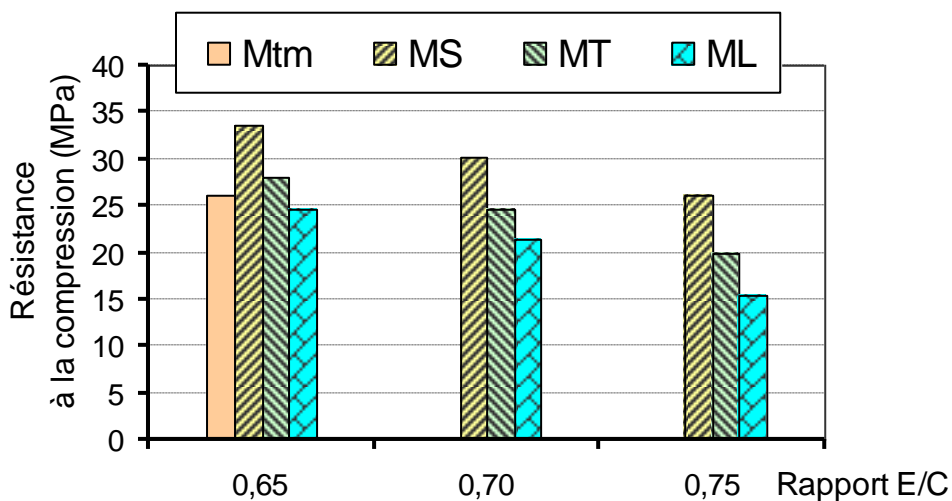
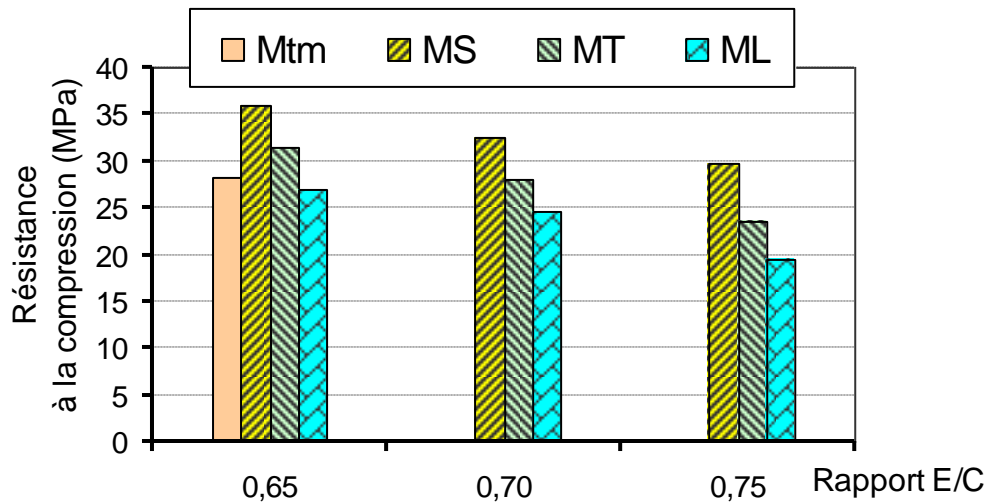


Figure 3.7 : Résistance à la compression des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m³ à 28j.



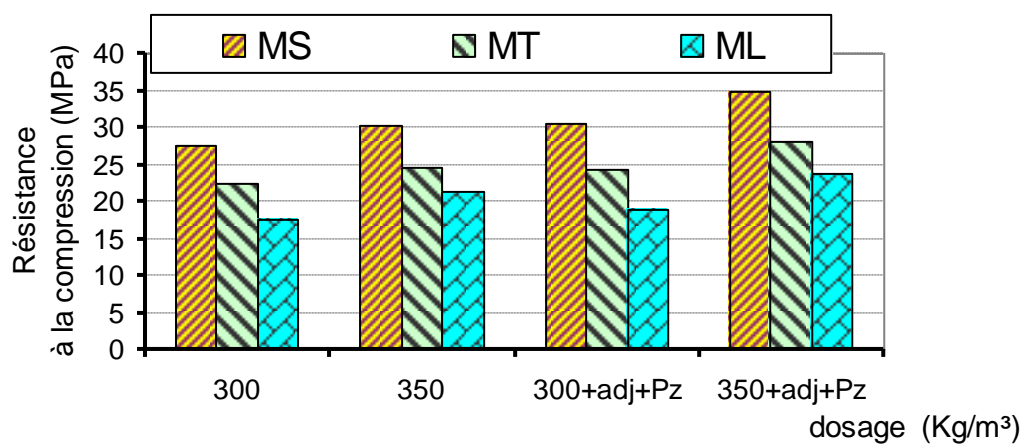
**Figure 3.8 :** Résistance à la compression des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

### 3.3.2. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques des mortiers, on a incorporé 0.5% du superplastifiant plus ajout de 10 % de la pouzzolane en substitution. Le **tableau 3.4** montre les résultats de la résistance à la compression des différents types de mortier à base de sable concassé pour les dosages de 300 et 350 Kg/m<sup>3</sup> avec un rapport E/C 0.70 à 28 jours.

**Tableau 3.4 :** Résistance à la compression des différents types de mortier adjuvanté plus pouzzolane pour les dosages de 300 et 350 Kg/m<sup>3</sup> et avec un rapport E/C 0,70 à 28j.

Rapport E/C	Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j (MPa)		
		MS	MT	ML
0,70	300	33,2	26,9	20,8
	350	38,0	30,1	25,9



**Figure 3.9 :** Résistance à la compression des différents types de mortier adjuvanté plus pouzzolane et non adjuvanté sans pouzzolane pour les dosages de 300 et 350 Kg/m<sup>3</sup> et avec un rapport E/C 0,70 à 28j.

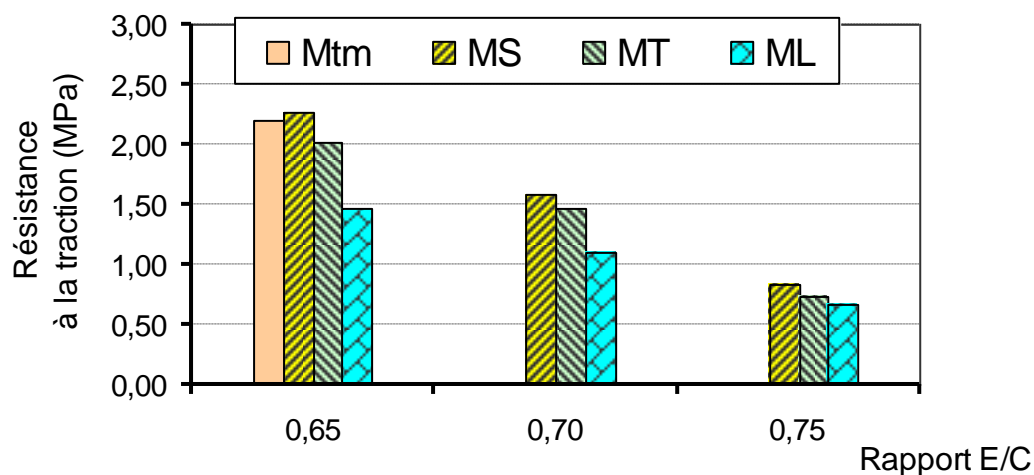
D’après la **figure 3.9**, on remarque une amélioration dans les résistances à la compression des mortiers (MS, MT et ML) adjuvantés plus pouzzolane en comparaison avec celles des mêmes mortiers non adjuvantés sans pouzzolane. Cette augmentation varie de 8 à 15% selon le type et le dosage des mortiers. Probablement, cette augmentation de résistance est due à l’effet du superplastifiant et à l’effet de la pouzzolane.

### 3.3.3. Résistance à la traction par flexion

Les résultats des essais de la résistance à la traction par flexion pour les différents types de mortiers à différents dosages et rapports E/C sont illustrés dans le **tableau 3.5** suivant.

**Tableau 3.5** : Résistance à la traction des différents types du mortier

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Résistance à la traction des différents types de mortier à 28j (MPa)			
		Mtm	MS	MT	ML
300	0,65	2,20	2,26	2,02	1,47
	0,70	-	1,58	1,47	1,10
	0,75	-	0,84	0,73	0,66
350	0,65	2,39	2,57	2,31	1,84
	0,70	-	1,65	1,54	1,39
	0,75	-	1,10	0,99	0,70
400	0,65	2,72	2,86	2,39	2,20
	0,70	-	2,02	1,76	1,47
	0,75	-	1,39	1,10	0,77



**Figure 3.10** : Résistance à la traction des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

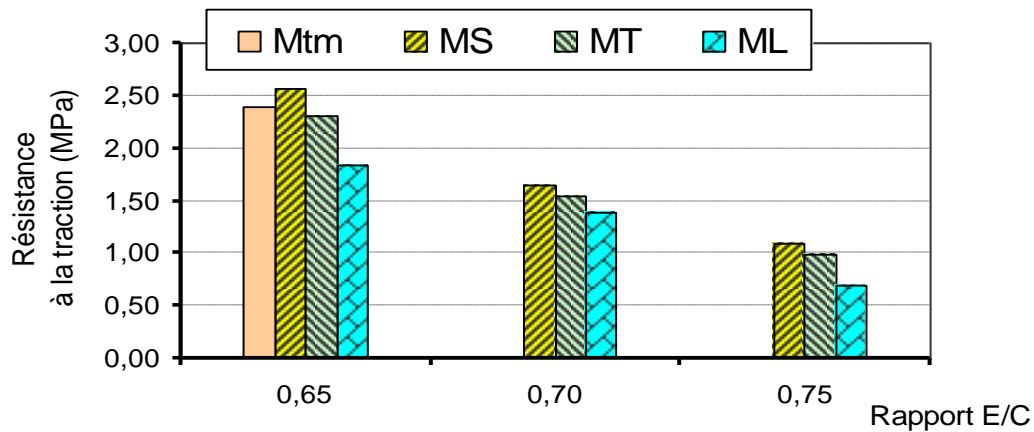


Figure 3.11 : Résistance à la traction des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m³ à 28j.

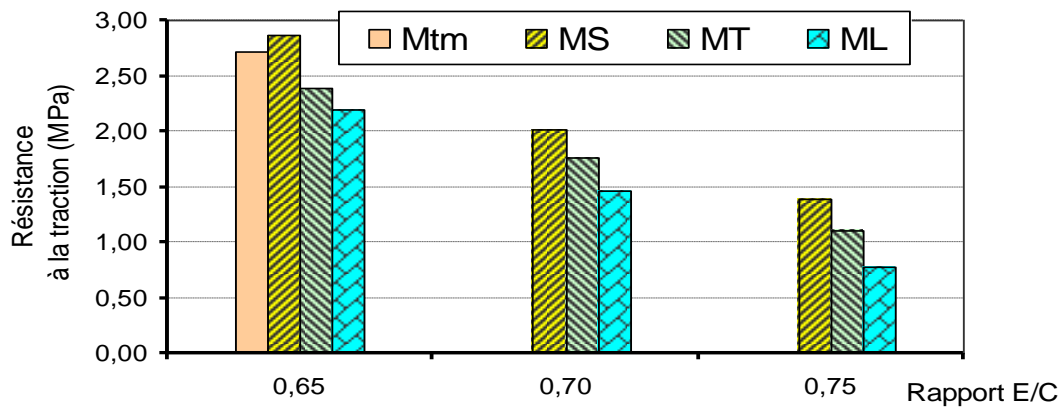


Figure 3.12 : Résistance à la traction des différents types de mortier en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m³ à 28j.

D’après les figures 3.10 à 3.12, on remarque que la résistance à la traction des différents mortiers a la même allure que dans le cas de la résistance à la compression. Alors, les mêmes observations et conclusions mentionnées précédemment dans le cas de la résistance à la compressions, sont applicables dans le cas de la résistance à la traction.

### 3.3.4. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane

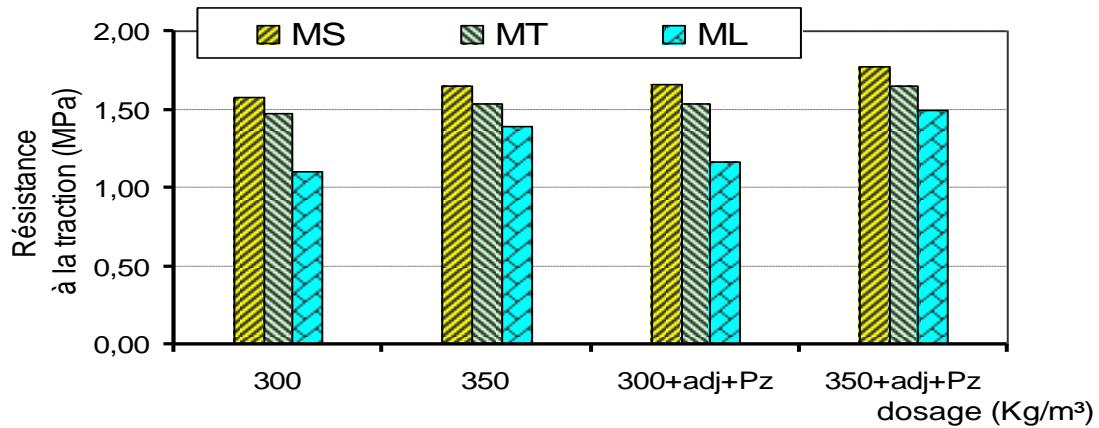
Le tableau 3.6 montre les résultats de la résistance à la traction des différents types de mortier à base de sable concassé adjuvanté plus pouzzolane pour les dosages de 300 et 350 Kg/m³ avec un rapport E/C 0.70 à 28 jours.

Tableau 3.6 : Résistance à la traction des différents types de mortier adjuvanté plus pouzzolane pour les dosages de 300 et 350 Kg/m³ et avec un rapport E/C 0,70 à 28j.

Rapport E/C	Dosage en ciment (Kg/m3)	Résistance à la traction des différents types de mortier à 28j (MPa)		
		MS	MT	ML
0,70	300	1,66	1,54	1,16
	350	1,77	1,65	1,49



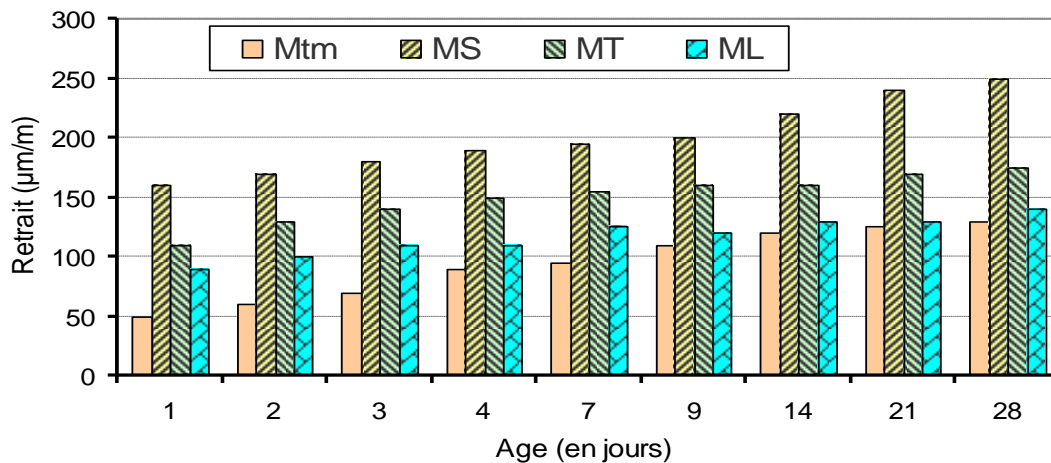
D’après la **figure 3.13**, une amélioration des résistances à la traction est bien remarquée, cela est pour tous les types de mortiers à base de sable de carrières. L’augmentation de ces résistances est de l’ordre de 5 à 11 % par rapport à celle des mortiers non adjuvantés sans pouzzolane.



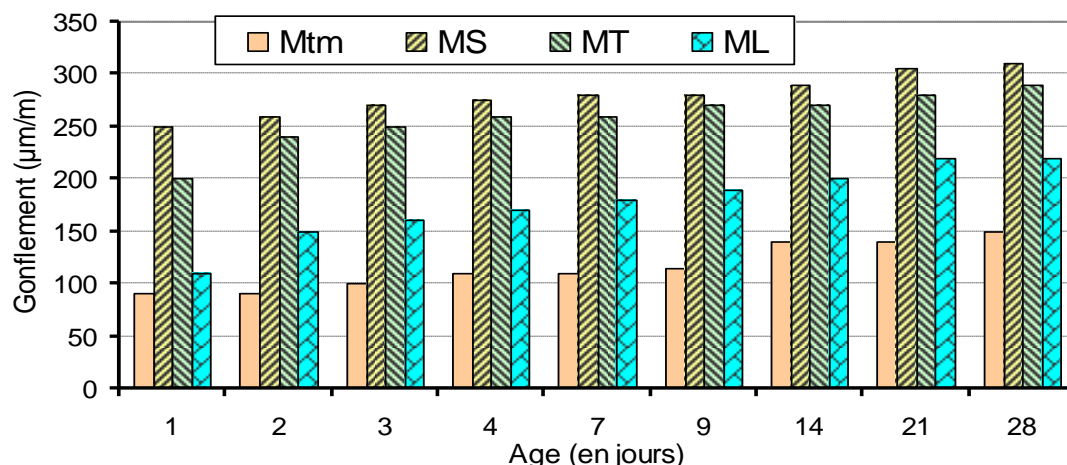
**Figure 3.13 :** Résistance à la traction des différents types de mortier adjuvanté plus pouzzolane et non adjuvanté sans pouzzolane pour les dosages de 300 et 350 Kg/m³ et avec un rapport E/C 0,70 à 28j.

### 3.4. Retrait et gonflement

Les résultats obtenus du retrait à l’air libre et du gonflement à l’eau nous ont permis de tracer les graphes des **figures 3.14 et 3.15**. D’après ces dernières, il est bien remarqué que les mortiers à base de sable de carrières présentent des retraits (gonflement aussi) plus élevés que ceux des mortiers à sable d’oued. Ce retrait est d’autant plus important que le taux des fines est élevé, par conséquent le mortier MS a la valeur la plus haute du retrait malgré qu’il présente la meilleure résistance à la compression. De ce fait, on peut faire un compromis entre résistance à la compression élevée d’une part et retrait moindre d’une autre part, en choisissant le mortier MT.



**Figure 3.14 :** Evolution du retrait à l’air des différents types de mortier en fonction du temps pour un dosage de 350 Kg/m³ et un rapport E/C = 0,70.



**Figure 3.15 :** Evolution du gonflement à l'eau des différents types de mortier en fonction du temps pour un dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et un rapport E/C = 0,70

### 3.5. Propriétés des bétons frais

#### 3.5.1. Consistance des bétons frais

La consistance des différents types du béton à l'état frais a été fait par l'essai d'affaissement (Slump test) au cône d'Abrams, tandis que pour les bétons qui ne donnent aucun affaissement leur consistance a été mesurée par l'essai Vébé. Les résultats de consistance des différents types de béton mesurée par les deux méthodes sont portés sur le **tableau 3.7** suivant.

**Tableau 3.7 :** Affaissement et temps Vébé des différents types de béton.

Type du béton	Rapport E/C	Type d'essai	Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )		
			300	350	400
BS	0,4	Temps Vébé (s)	9	7	4
BT			7	5	3
BL			6	4	1
Btm	0,5	Slump (cm)	0 (0 s)	2,5	9
BS			0 (5 s)	0,5	4
BT			0 (4 s)	1	5
BL			0 (2 s)	1,5	8
BS	0,6		1	10	15
BT			2	12	17
BL			5	14	20

En observant les **figures 3.16 à 3.18**, on constate que , pour tous les types de bétons, l'ouvrabilité croit en augmentant le dosage en ciment à un rapport E/C constant, et elle croit aussi en augmentant le rapport E/C à un dosage donné. L'ouvrabilité des différents types de bétons peut être classé par ordre croissant comme suivant : BS, BT, BL et Btm. En variant le

rapport E/C, les bétons à base de sable de carrières sont fermes au dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup>, de ferme à plastique au dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup>, de ferme à fluide au dosage 400 Kg/m<sup>3</sup>. Cela s'explique par le pourcentage des fines dans le sable utilisé (voir § 3.2.1); Pour les trois types de bétons (BS, BT, BL), l'ouvrabilité est d'autant plus moindre que le pourcentage des fines est plus important. Notons que le béton le moins maniable est celui à base de sable de carrières sans modification (MS), par contre le plus maniable est celui à base de sable d'oued.

On peut conclure alors que le sable d'oued a l'avantage de nous fournir une ouvrabilité élevée à cause de la forme arrondie ou roulée de ses grains, tandis que le sable de carrières présente un inconvénient en donnant des bétons de moindre ouvrabilité du fait de l'angularité de ses grains ainsi qu'à leur forme allongée et le taux plus au moins élevé des particules fines.

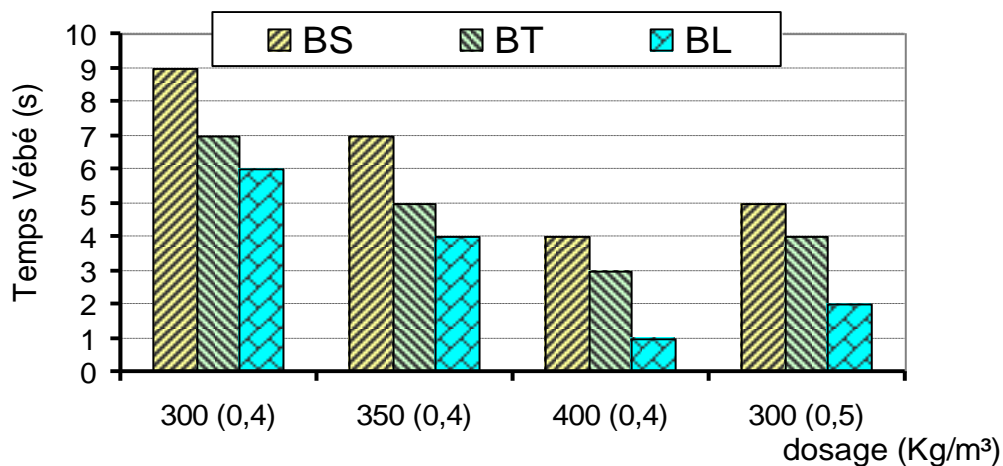


Figure 3.16 : Evolution de la consistance des différents types de béton en fonction du dosage avec un rapport E/C 0,4, ainsi pour le dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup> avec un rapport E/C 0,5.

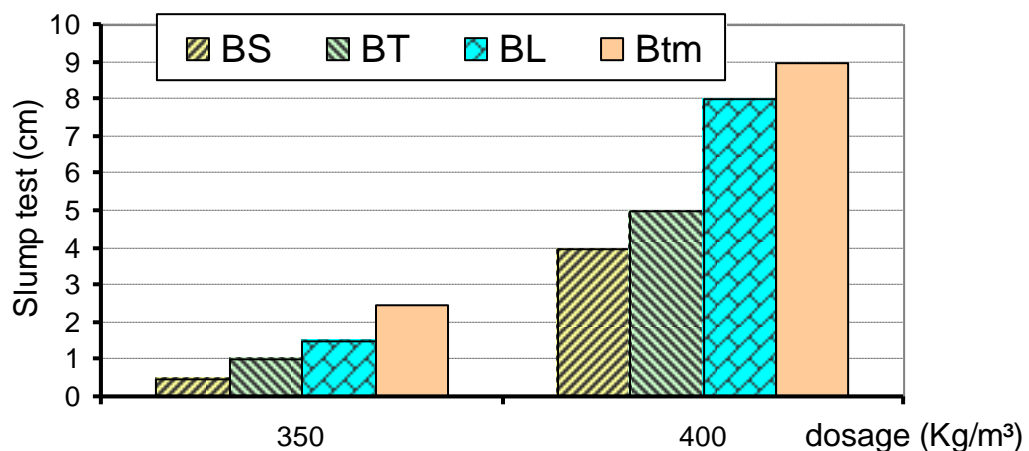
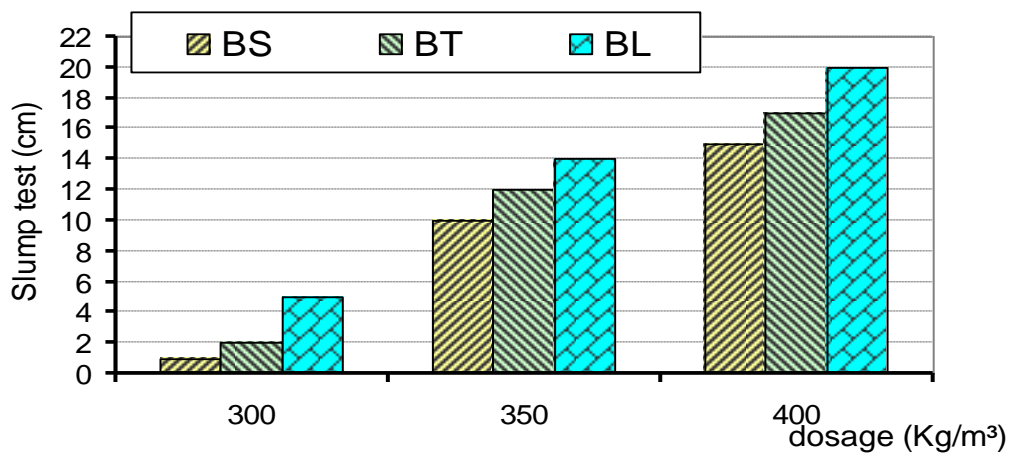


Figure 3.17 : Evolution de la consistance des différents types de béton pour les dosages 350 et 400 Kg/m<sup>3</sup> avec un rapport E/C 0,5.



**Figure 3.18 :** Evolution de la consistance des différents types de béton en fonction du dosage avec un rapport E/C 0,6.

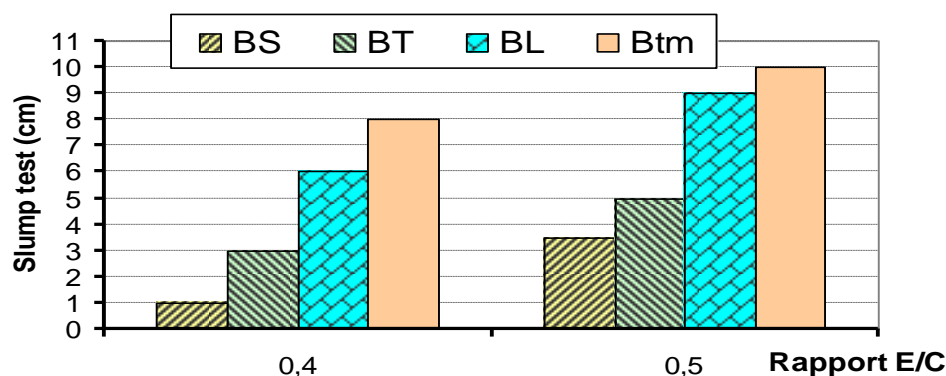
**3.5.2. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane**

Vu la mauvaise ouvrabilité des bétons à base de sable de carrières, l’incorporation d’un adjuvant fluidifiant (0.5% d’un superplastifiant) et l’ajout de 10% de la pouzzolane naturelle s’avèrent nécessaires et indispensables. Les résultats de cet essai sont illustrés dans le **tableau 3.8** pour le rapport E/C = 0.5 et le dosage en ciment 350 Kg/m³.

**Tableau 3.8 :** Consistance des différents types de bétons avec ajouts (adj+Pz) pour E/C=0.5.

Type du béton	Dosage en ciment (Kg/m³)	Type d'essai	Rapport E/C	
			0.4	0.5
Btm	350	Slump (cm)	8	10
BS			1	3,5
BT			3	5
BL			6	9

D’après la **figure 3.19**, en incorporant du superplastifiant avec de la pouzzolane, on remarque une amélioration significative d’ouvrabilité pour les trois types de bétons adjuvantés à base de sable de carrières, en comparaison avec celle des mêmes bétons non adjuvantés et sans ajout. Cela est dû à la nature dispersante du superplastifiant qui casse les agglomérats formés par les grains du ciment emprisonnant une certaine quantité d’eau qui n’est plus alors disponible pour donner de l’ouvrabilité au mélange. Le superplastifiant a donc un effet très bénéfique sur l’ouvrabilité des bétons à base de sable de carrières ; en outre, l’ajout de la pouzzolane à un taux de 10 % en substitution au ciment semble avoir d’influence sur l’ouvrabilité de ces genres de béton.



**Figure 3.19 :** Evolution de la consistance des différents types de béton adjuvanté avec pouzzolane en fonction des rapports E/C 0,4 et 0,5 pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.6. Propriétés des bétons durcis

#### 3.6.1. Résistance à la compression

Les résultats des essais de la résistance à la compression pour les différents types de bétons à différents dosages et rapports E/C sont donnés au **tableau 3.9**.

**Tableau 3.9 :** Résistance à la compression des différents types de béton à 28j

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Résistance à la compression des différents types de béton à 28j (MPa)			
		Btm	BS	BT	BL
300	0,4	-	35,0	32,0	29,5
	0,5	34,5	33,0	31,0	28,2
	0,6	-	27,4	23,0	22,2
350	0,4	-	40,0	33,4	31,0
	0,5	37,0	38,0	31,5	29,0
	0,6	-	28,4	27,5	23,6
400	0,4	-	42,0	35,0	31,5
	0,5	39,0	40,0	32,8	29,8
	0,6	-	30,0	28,9	24,5

D'après les **figures 3.20 à 3.22**, on remarque que l'allure de l'évolution de la résistance à la compression des différents types de bétons ne se différencie pas de celle des mortiers discutés précédemment. Alors, pour tous les types de bétons, la résistance à la compression des bétons croît en augmentant le dosage en ciment à un rapport E/C constant, et elle croît aussi en augmentant le rapport E/C à un dosage donné. Elle peut être classé par ordre croissant comme suivant : BL, BT, BS pour les bétons à base de sable de carrières. Cela s'explique comme le cas des mortiers, par l'effet granulaire des fines calcaires contenus dans le sable de carrières à des différents pourcentages, ces fines font densifier le squelette granulaire en remplissant les vides ce qui fait diminuer la porosité, et par conséquent une augmentation de la résistance à la compression. On peut alors déduire que l'existence d'une certaine quantité des fines est une

nécessité pour avoir une meilleure résistance mécanique. D'autre part, en comparant les résistances des bétons BS, BT et BL avec le témoin Btm, on peut apercevoir, en particulier, que les résistances du béton BS sont plus au moins supérieures que celle du béton Btm témoin ; tandis que celles des autres bétons BT et BL sont plus inférieures. On peut conclure donc, que le béton à base de sable de carrières ne se distingue pas de celui à base de sable d'oued (témoin) du point de vue résistance mécanique, ce qui confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheurs.

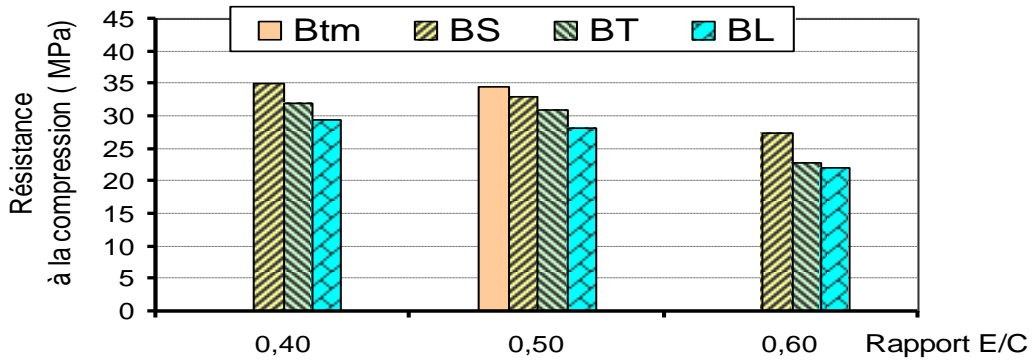


Figure 3.20 : Résistance à la compression des différents types de béton pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

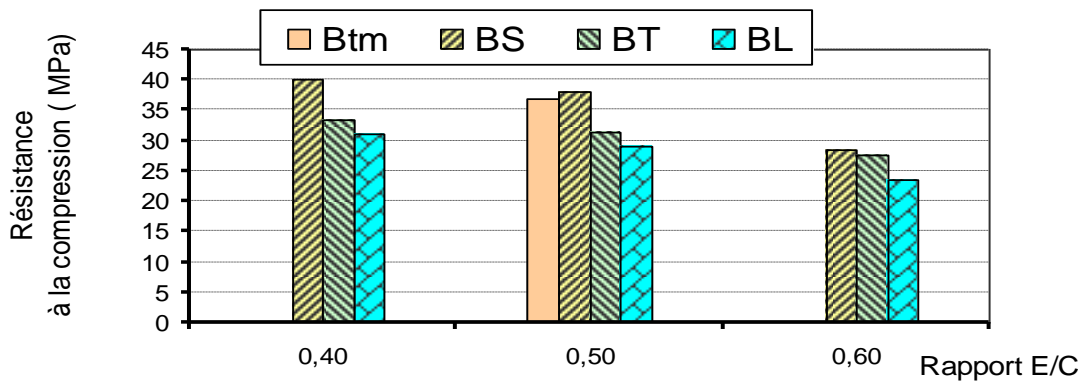


Figure 3.21 : Résistance à la compression des différents types de béton pour un dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

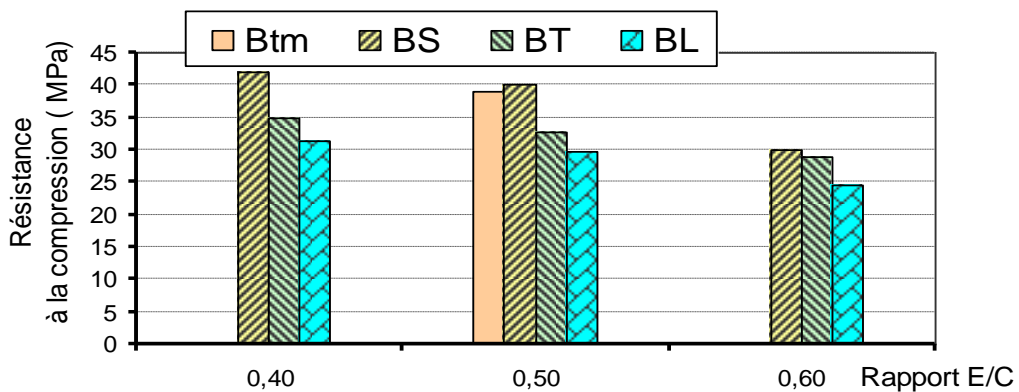


Figure 3.22 : Résistance à la compression des différents types de béton pour un dosage de 400 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

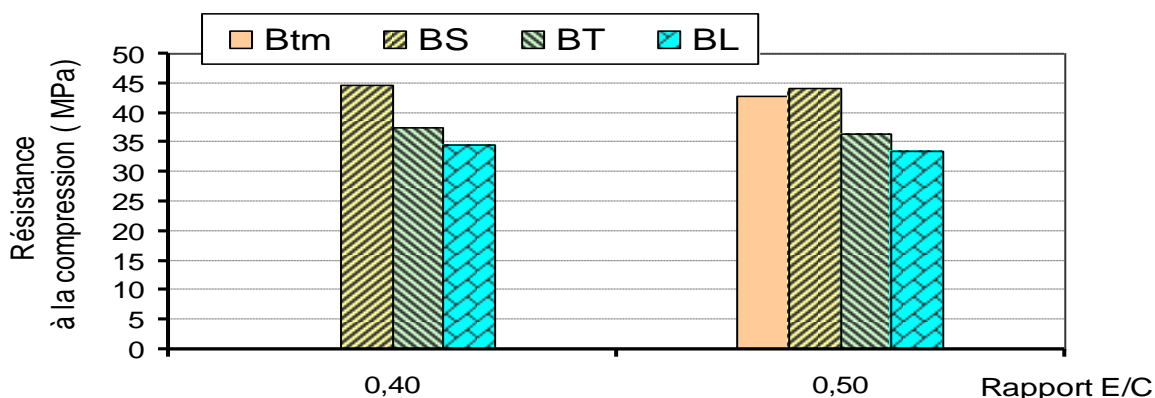
### 3.6.2. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques des bétons, on a incorporé 0.5% du superplastifiant avec ajout de 10 % de la pouzzolane en substitution. Le **tableau 3.10** montre les résultats de la résistance à la compression des différents types de béton à base de sable de carrières et témoin pour le dosage 350 Kg/m<sup>3</sup> avec les rapports E/C 0.4 et 0.5 à 28 jours.

**Tableau 3.10** : Résistance à la compression des différents types de béton adjuvanté avec pouzzolane pour le dosage 350 Kg/m<sup>3</sup> et avec les rapports E/C 0,4 et 0.5 à 28j.

Rapport E/C	Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Résistance à la compression des différents types de béton à 28j (MPa)			
		Btm	BS	BT	BL
0,4	350	-	44,8	37,4	34,7
0,5		42,9	44,1	36,5	33,6

D'après la **figure 3.23**, on remarque une amélioration favorable dans les résistances à la compression des bétons (BS, BT et BL) adjuvantés avec pouzzolane en comparaison avec celles des mêmes bétons non adjuvantés sans pouzzolane, cela confirme les résultats trouvés dans le cas des mortiers discutés auparavant. Cette amélioration varie de 12 à 16% selon le type et le dosage des bétons. Probablement, elle est due à l'effet du superplastifiant et à l'effet de la pouzzolane.



**Figure 3.23** : Résistance à la compression des différents types de béton adjuvanté (avec superplastifiant) avec 10 % de pouzzolane pour les rapports E/C 0,4 et 0,5 et le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

### 3.6.3. Résistance à la traction par flexion des bétons

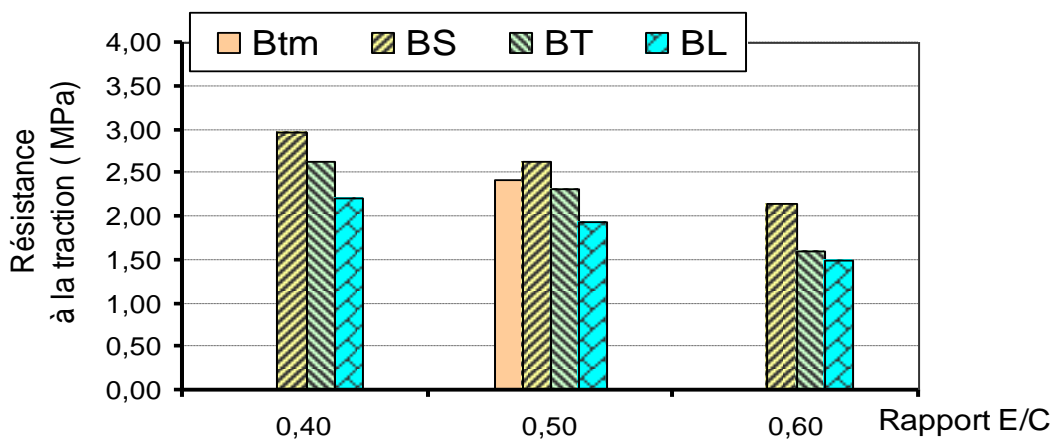
Les résultats des essais de la résistance à la traction par flexion pour les différents types de bétons à différents dosages et rapports E/C sont portés sur le **tableau 3.11**.

D'après les **figures 3.24 à 3.26**, on remarque que la résistance à la traction des différents mortiers a la même allure que dans le cas de la résistance à la compression. Alors, les mêmes

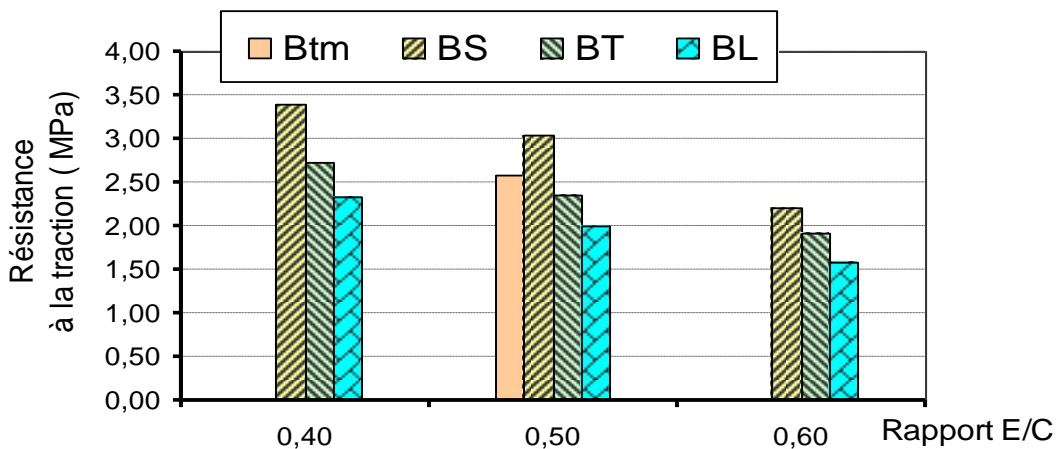
observations et conclusions mentionnées précédemment dans le cas de la résistance à la compressions, sont applicables dans le cas de la résistance à la traction.

**Tableau 3.11** : Résistance à la traction des différents types de béton

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Résistance à la traction des différents types de béton à 28j (MPa)			
		Btm	BS	BT	BL
300	0,4	-	2,98	2,62	2,21
	0,5	2,42	2,64	2,33	1,95
	0,6	-	2,14	1,61	1,49
350	0,4	--	3,40	2,74	2,33
	0,5	2,59	3,04	2,36	2,00
	0,6	-	2,22	1,93	1,58
400	0,4	-	3,57	2,87	2,36
	0,5	2,73	3,20	2,46	2,06
	0,6	-	2,34	2,02	1,64

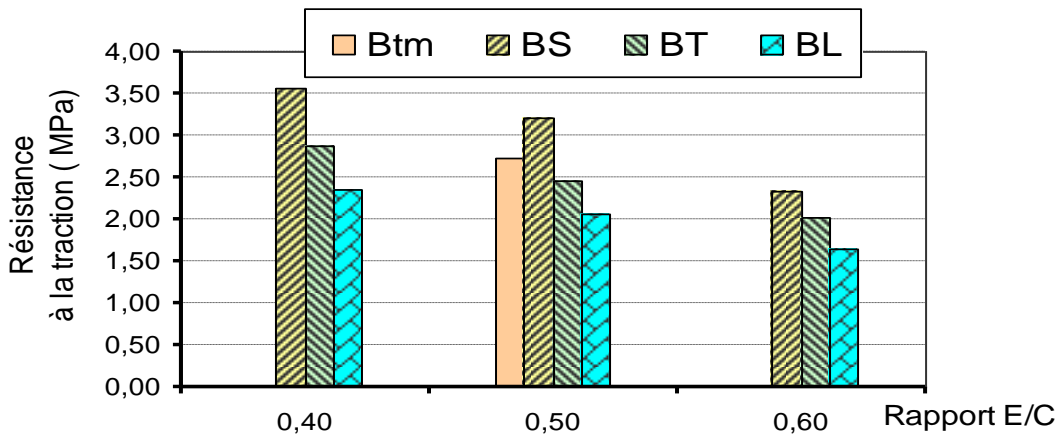


**Figure 3.24** : Résistance à la traction des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.



**Figure 3.25** : Résistance à la traction des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.





**Figure 3.26 :** Résistance à la traction des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

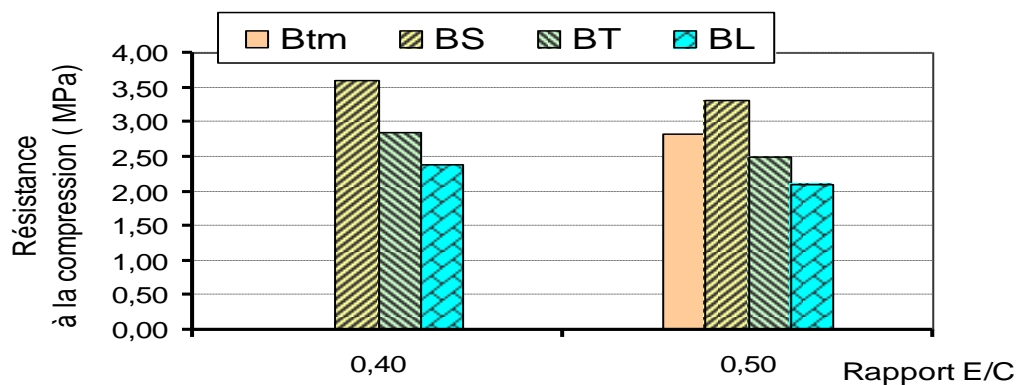
**3.6.4. Effet du superplastifiant et de la pouzzolane**

Le **tableau 3.12** montre les résultats de la résistance à la traction des différents types de béton à base de sable de carrières et témoin, adjuvanté plus pouzzolane pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> avec les rapports E/C 0.4 et 0.5 à 28 jours.

**Tableau 3.12 :** Résistance à la traction des différents types de mortier adjuvanté plus pouzzolane pour le dosage 350 Kg/m<sup>3</sup> et avec les rapports E/C 0,4 et 0.5 28j.

Rapport E/C	Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Résistance à la traction des différents types de béton à 28j (MPa)			
		Btm	BS	BT	BL
0,4	350	-	3,60	2,85	2,39
0,5		2,82	3,31	2,50	2,10

D’après **la figure 3.27**, comme dans le cas des mortiers, une amélioration de la résistance à la traction est bien remarquée, cela est pour tous les types de bétons à base de sable de carrières et ainsi le témoin. L’augmentation de cette résistance est de l’ordre de 3 à 9 % par rapport à celle des bétons non adjuvantés sans pouzzolane selon le type du sable.



**Figure 3.27 :** Résistance à la traction des différents types de béton adjuvanté (avec superplastifiant) plus 10 % de pouzzolane pour les rapports E/C 0,4 et 0,5 et le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> à 28j.

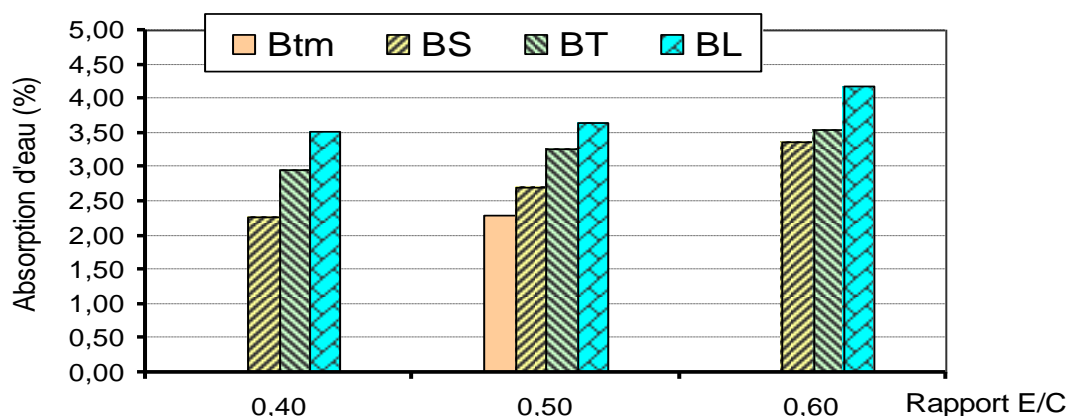
### 3.7. Absorption d'eau par immersion

Les résultats obtenus issus de cet essai concernant les différents types du béton sont résumés dans le **tableau 3.13** suivant.

**Tableau 3.13** : Absorption d'eau des différents types de béton à 28j.

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Absorption d'eau des différents types de béton à 28j (%)			
		Btm	BS	BT	BL
300	0,4		2,27	2,96	3,52
	0,5	2,29	2,70	3,27	3,64
	0,6		3,36	3,55	4,18
350	0,4		2,18	2,74	3,31
	0,5	2,21	2,58	2,98	3,46
	0,6		3,04	3,31	3,34
400	0,4		2,11	2,30	3,07
	0,5	2,14	2,30	2,69	3,24
	0,6		2,64	2,95	4,05

D'après les **figures 3.28 à 3.30**, on remarque que tous les types de béton à base de sable de carrières ont des coefficients d'absorption d'eau légèrement plus élevés que celui du béton à base de sable d'oued. On peut classer les bétons à base de sable de carrières en ordre croissant des coefficient d'absorption comme suivant : BS, BT puis BL qui a la plus grande valeur. Cela s'explique par la porosité différente des bétons ; plus la porosité est grande plus le coefficient d'absorption est élevé. Par conséquent, on peut en déduire que les bétons ayant le coefficient d'absorption le plus bas sont les bétons caractérisés par une résistance à la compression plus élevée ; donc on a intérêt à minimiser ce coefficient pour avoir des performances améliorées.



**Figure 3.28** : Absorption d'eau des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup>.

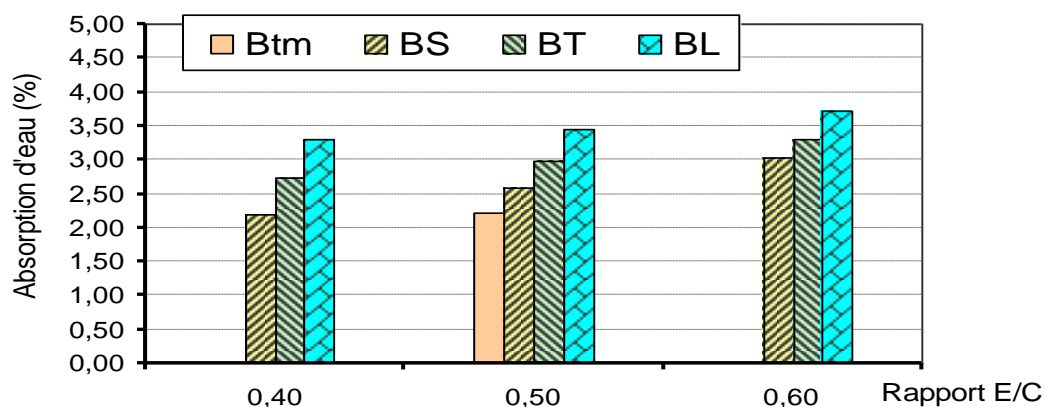


Figure 3.29 : Absorption d'eau des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup>.

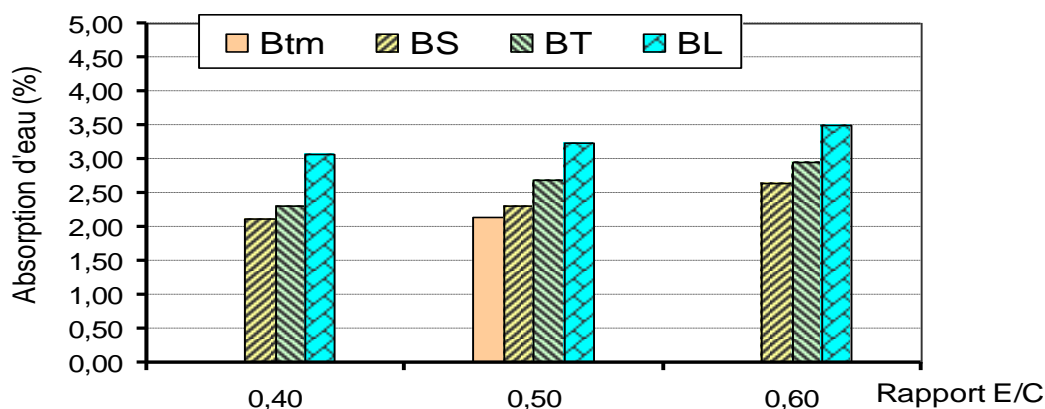


Figure 3.30 : Absorption d'eau des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.8. Coefficient de ramollissement

Les coefficients de ramollissement concernant les différents types du béton sont portés sur le **tableau 3.14** ci-après.

Tableau 3.14 : Coefficient de ramollissement des différents types de béton

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Coefficient de ramollissement des différents types de béton à 28j			
		Btm	BS	BT	BL
300	0,4		0,81	0,79	0,74
	0,5	0,79	0,80	0,77	0,73
	0,6		0,78	0,75	0,70
350	0,4		0,85	0,83	0,79
	0,5	0,82	0,83	0,81	0,77
	0,6		0,80	0,78	0,75
400	0,4		0,87	0,84	0,80
	0,5	0,84	0,85	0,82	0,79
	0,6		0,81	0,80	0,77

D'après les figures 3.31 à 3.33, on remarque que tous les types de béton à base de sable de carrières ont des coefficients de ramollissement ne se distinguant pas de ceux du béton à base de sable d'oued, et parfois sont plus meilleurs. On peut classer les bétons à base de sable de carrières par ordre croissant comme suivant : BL, BT puis BS qui la plus grande valeur. Cet ordre est l'inverse de celui des coefficients d'absorption d'eau. Cela a donc la même explication déjà rapportée précédemment. Par conséquent, on conclut que les bétons à base de sable de carrières ont des résistance à la compression acceptables généralement à l'état saturé.

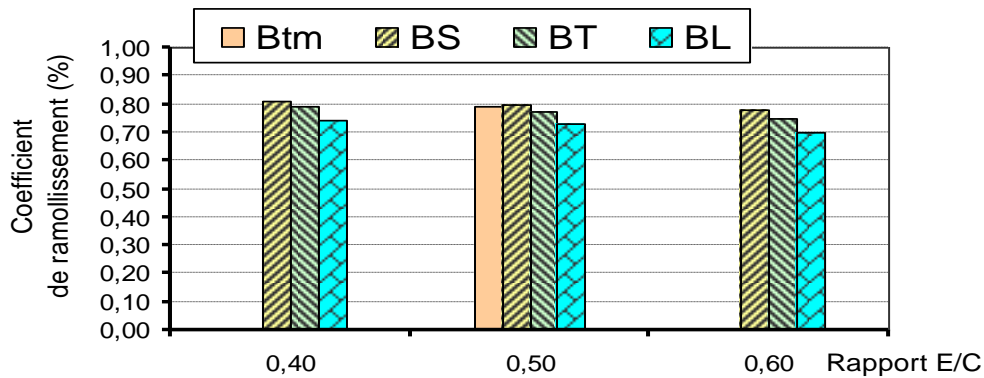


Figure 3.31 : Coefficient de ramollissement des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup>.

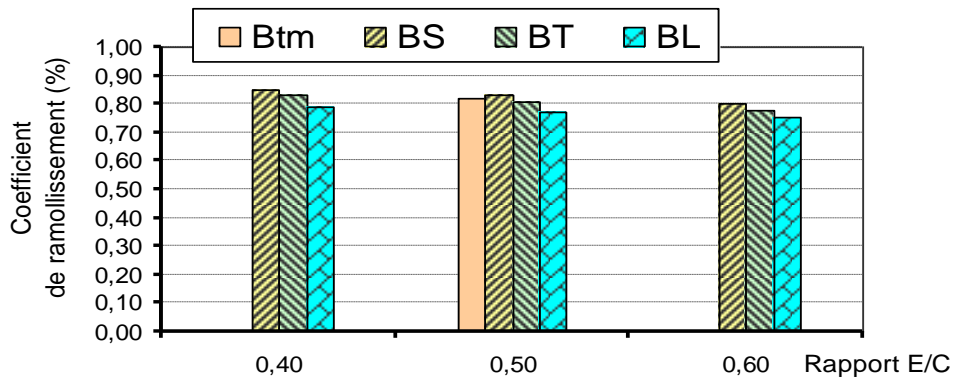


Figure 3.32 : Coefficient de ramollissement des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup>.

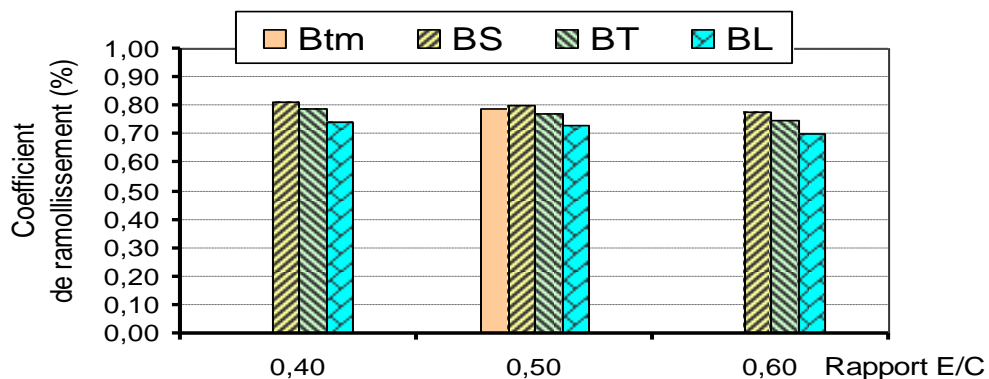


Figure 3.33 : Coefficient de ramollissement des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m<sup>3</sup>.

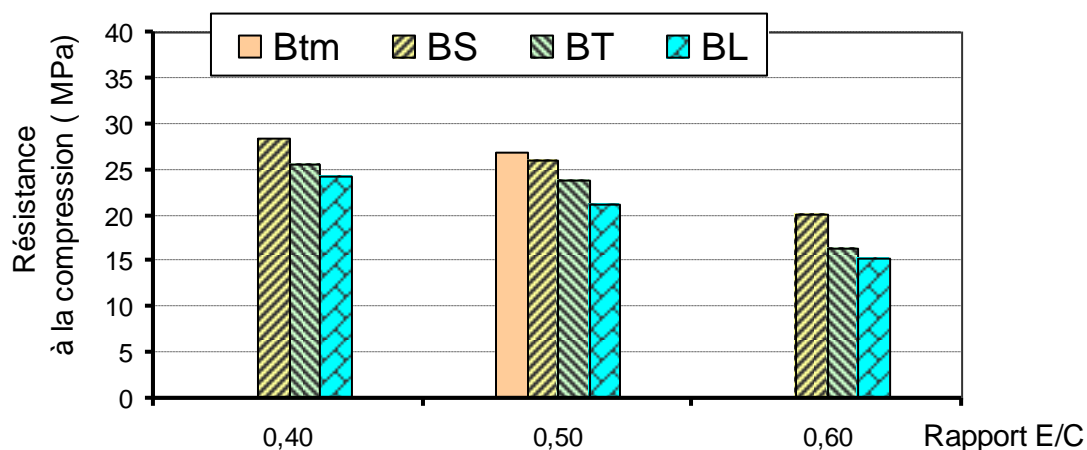
### 3.9. Durabilité

Les résultats issus de l'essai de l'endurance (durabilité) vis-à-vis les effets cycliques de la température sont illustrés dans le **tableau 3.15** ci-après.

**Tableau 3.15** : Résistance à la compression pour la durabilité (après 20 cycles) des différents types de béton.

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	Rapport E/C	Résistance à la compression pour la durabilité des différents types de béton à 28j (MPa)			
		Btm	BS	BT	BL
300	0,4	-	28,4	25,6	24,2
	0,5	26,9	26,1	23,9	21,2
	0,6	-	20,0	16,3	15,3
350	0,4	-	32,0	26,4	25,1
	0,5	28,5	29,6	23,9	22,0
	0,6	-	20,4	20,1	16,5
400	0,4	-	34,4	28,4	24,9
	0,5	29,6	30,8	24,6	22,1
	0,6	-	22,2	20,2	16,7

En examinant les **figures 3.34 à 3.36**, et en comparant avec le béton témoin, on peut apercevoir que malgré des chutes plus ou moins grande de résistance à la compression des différents types du béton à base de sable de carrières, que ces derniers ne se distinguent pas des bétons à base de sable d'oued. On peut donc conclure que de point de vu durabilité vis-à-vis les effets cycliques de la température, le béton à base de sable de carrière est utilisable et pourrait remplacer le béton à base de sable d'oued.



**Figure 3.34**: Résistance à la compression pour la durabilité (après 20 cycles) des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 300 Kg/m<sup>3</sup>.

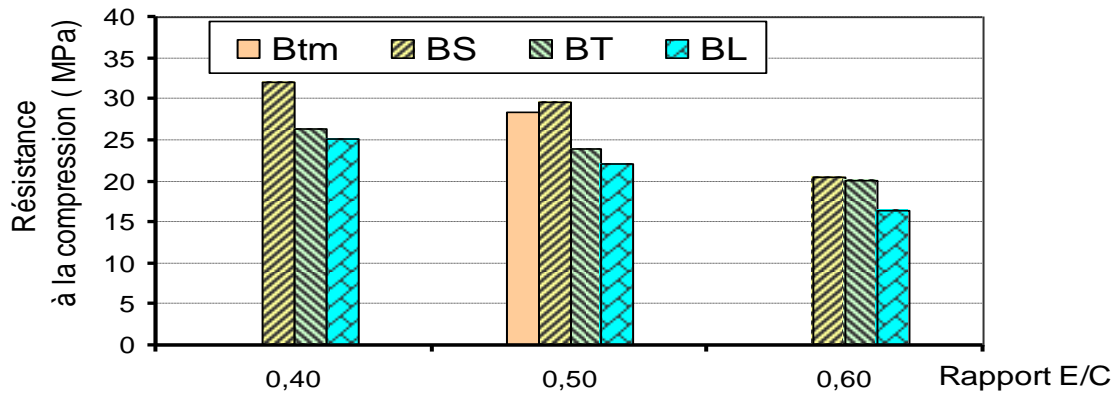


Figure 3.35 : Résistance à la compression pour la durabilité (après 20 cycles) des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 350 Kg/m³.

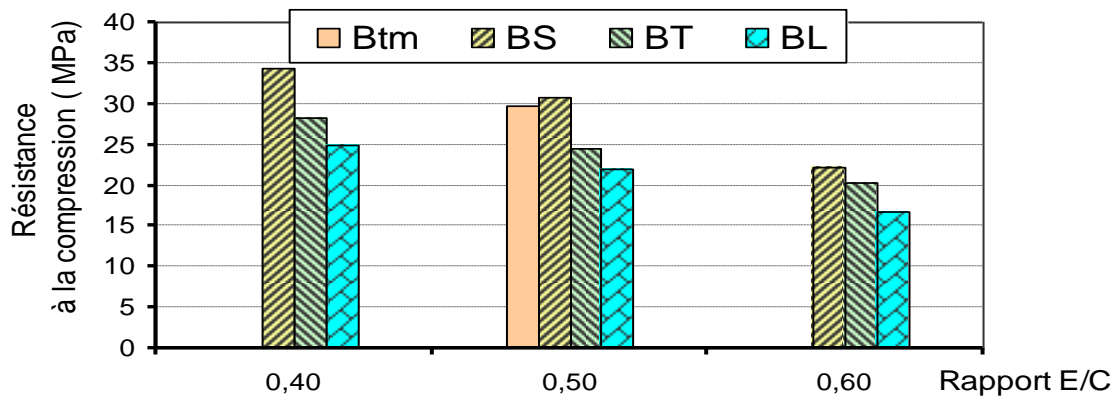


Figure 3.36 : Résistance à la compression pour la durabilité (après 20 cycles) des différents types de béton en fonction du rapport E/C pour un dosage de 400 Kg/m³.

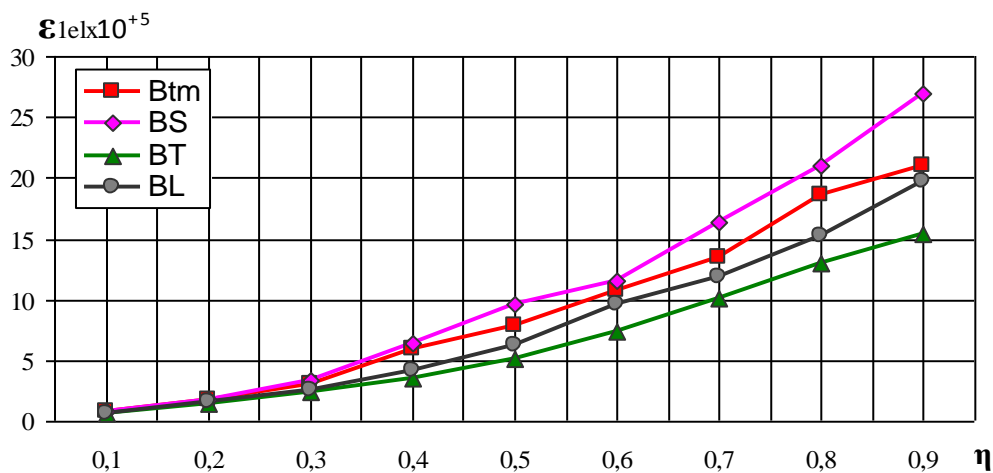
### 3.10. Déformabilité et module d'élasticité

Afin d'étudier l'influence du type de sable sur la déformabilité et le module d'élasticité, on a effectué des essais de déformabilité sur des prismes (10x10x40) cm<sup>3</sup> confectionnés à partir des différents types de sable (Btm, BS, BT et BL) pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et les rapports E/C de 0,5 et 0,6. Les résultats issus de ces essais sont représentés sur les graphes (3.37 à 3.43) et (3.44 à 3.50) pour les rapports E/C 0,5 et 0,6 respectivement. Ces graphes représentent l'évolution des déformations élasto-instantanées longitudinales et transversales à l'instant (t) et relatives totales à (t+Δt) avec l'augmentation de la contrainte relative (η), le module de déformabilité, le module d'élasticité et enfin une comparaison entre les résistances à la compression cubiques et prismatiques.

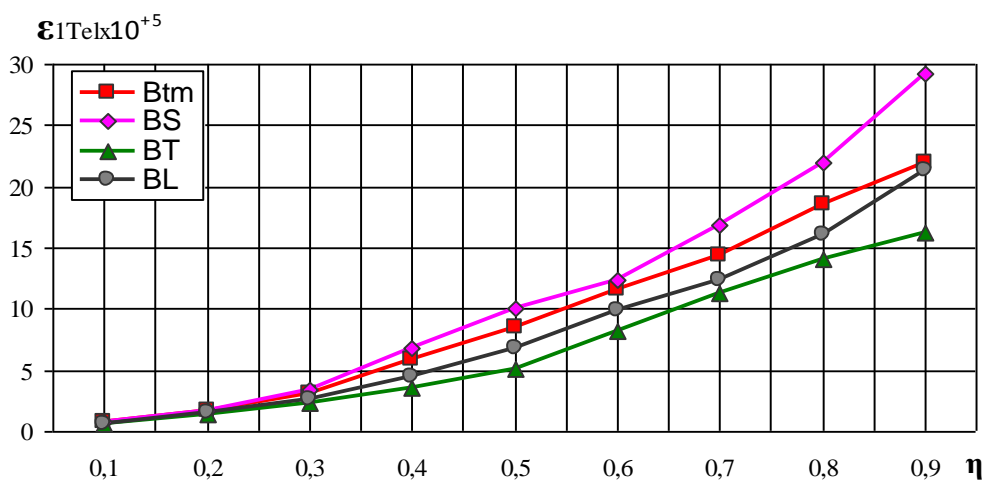
D'après ces graphes, on peut citer les remarques suivantes :

- La relation entre la contrainte relative et les déformations élasto-instantanées du béton revêt un caractère rectiligne pour (η = 0.1-0.3). Un comportement élastique linéaire.
- La relation entre (η) et les déformations est curviligne dans l'intervalle (η = 0.4 - 0.9), ce qui signale le développement dans les bétons des déformations irréversibles.

- La résistance à la compression prismatique est toujours inférieure à la résistance à la compression cubique pour tous les types de sable.
- Les bétons à base de sable de carrière et le béton témoin présentent la même allure de la déformabilité.
- D'après les figures, on peut observer que le béton à base de sable concassé tamisé BT présente des déformations moindres ainsi qu'un module de déformabilité relativement élevé par rapport aux autres types de béton et par conséquent une meilleure déformabilité. On peut conclure donc que le béton à base de sable concassé tamisé BT présente un meilleur module d'élasticité (voir figures 3.42 et 3.49) par rapport aux autres types de béton. Cela est probablement dû la forte adhérence entre la pâte du ciment et les agrégats.



**Figure 3.37 :** Déformations élasto-instantanées longitudinales du béton  $\epsilon_{1el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5



**Figure 3.38 :** Déformations élasto-instantanées totales longitudinales du béton  $\epsilon_{1Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5

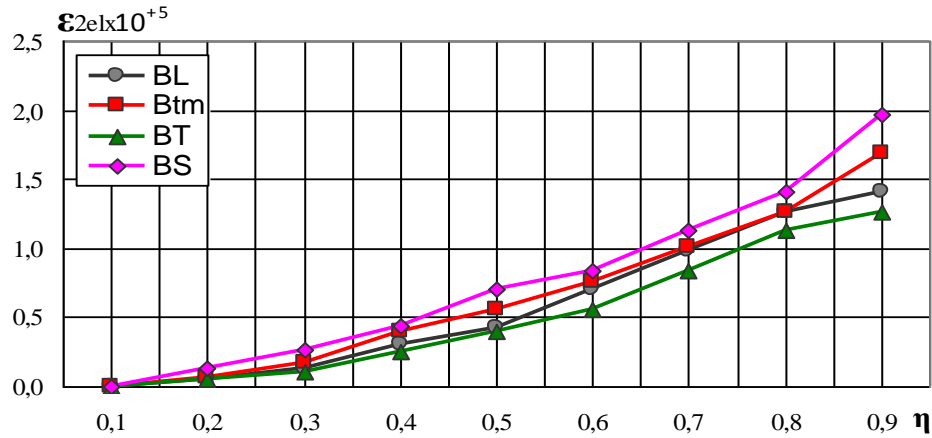


Figure 3.39 : Déformations élasto-instantanées transversales du béton  $\epsilon_{2el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5

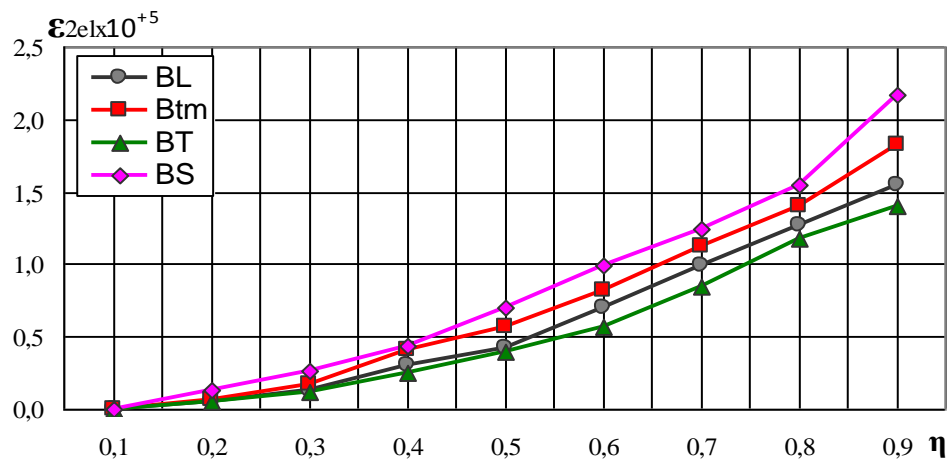


Figure 3.40 : Déformations élasto-instantanées totales transversales du béton  $\epsilon_{2Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5

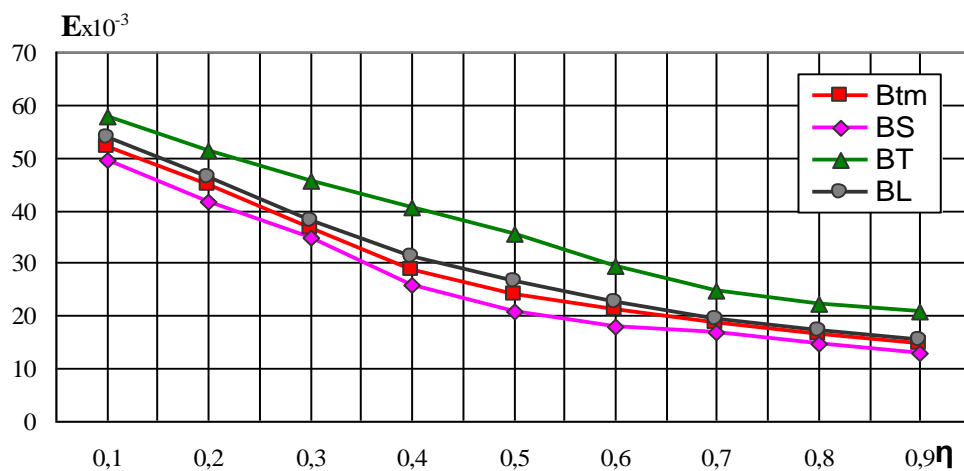


Figure 3.41 : Module de déformabilité E du béton en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5



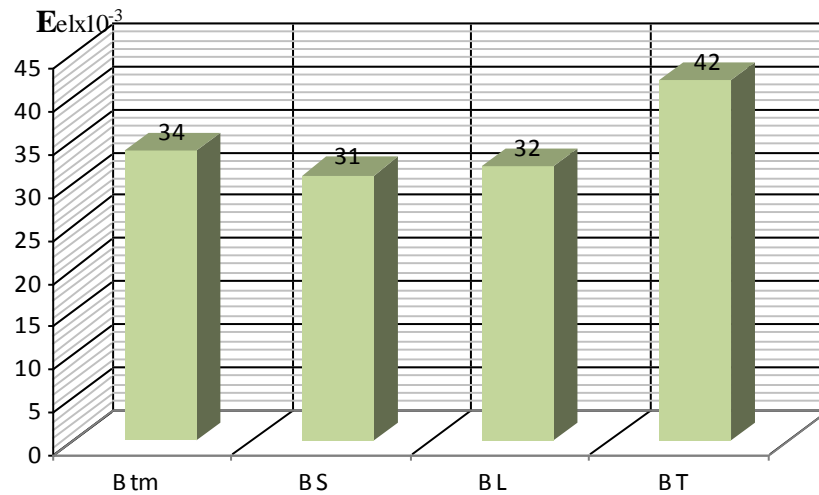


Figure 3.42 : Module d'élasticité des bétons Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5

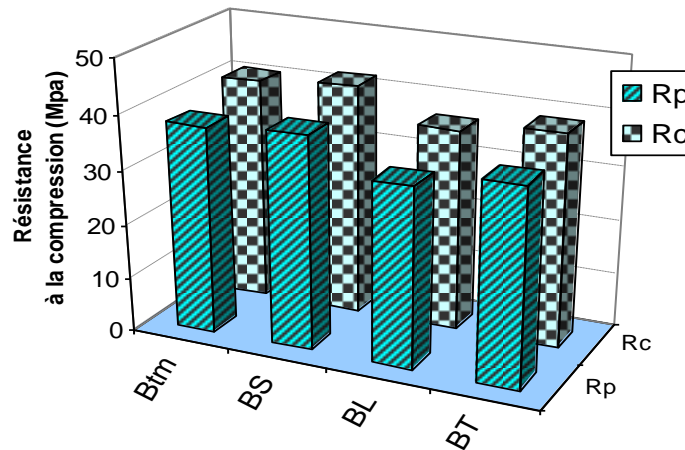


Figure 3.43 : Résistance mécanique à la compression cubique (Rc) et prismatique (Rp) en fonction du type de sable pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,5

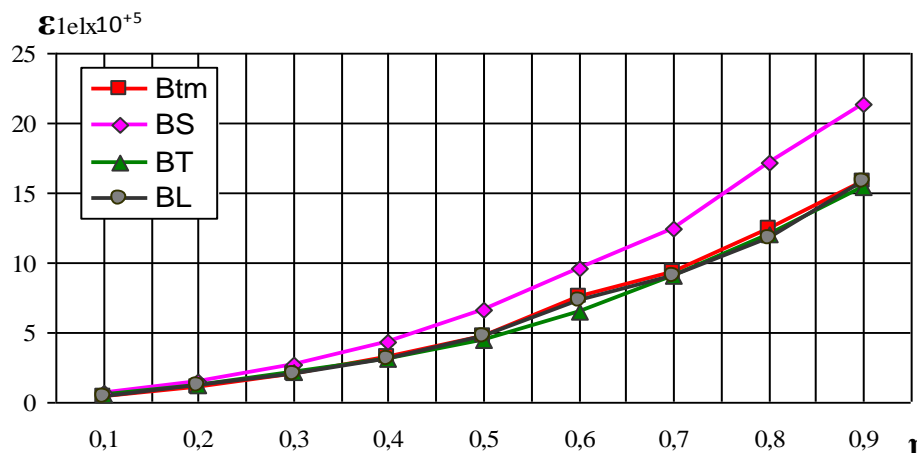
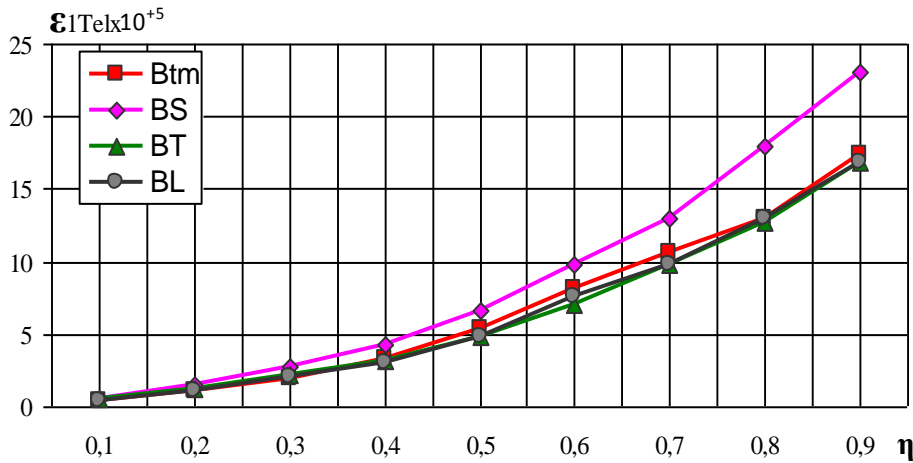
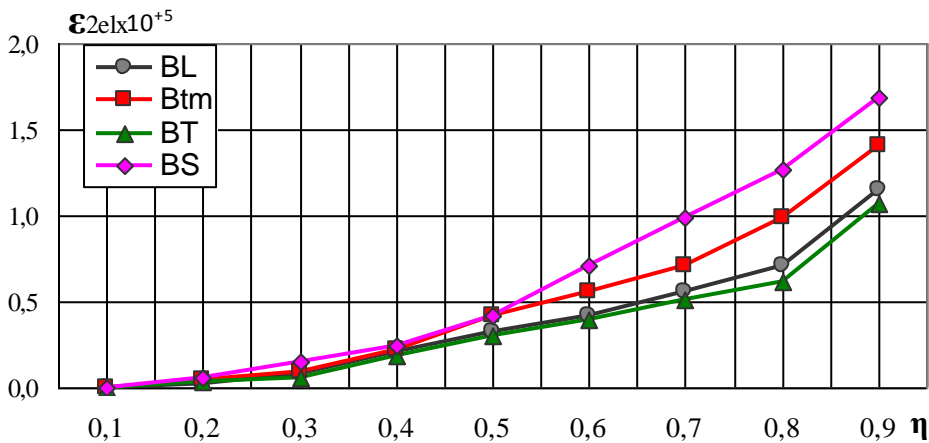


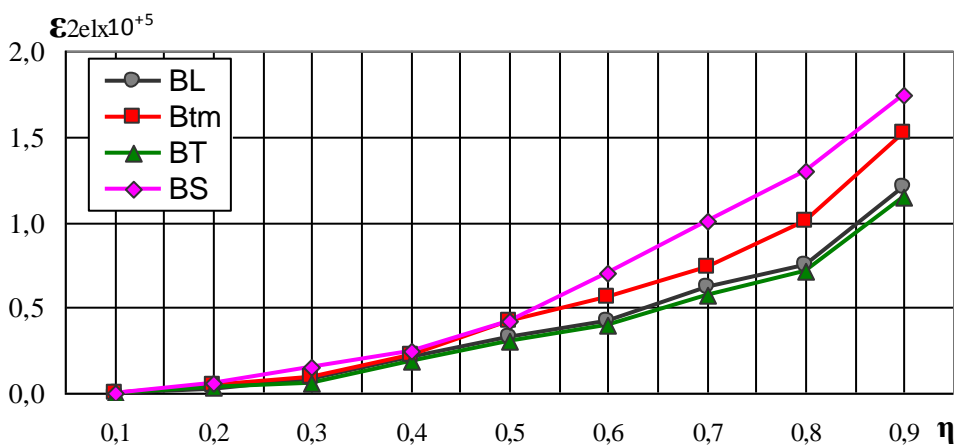
Figure 3.44 : Déformations élasto-instantanées longitudinales du béton  $\epsilon_{1el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



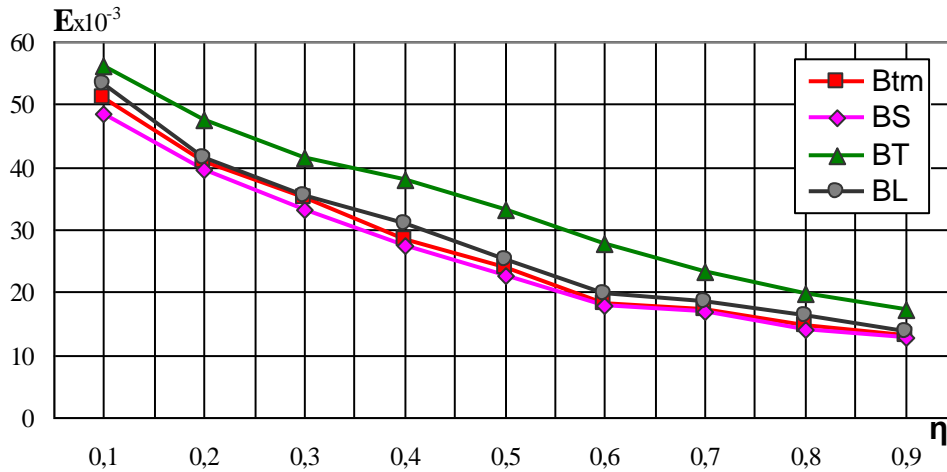
**Figure 3.45 :** Déformations élasto-instantanées totales longitudinales du béton  $\epsilon_{1Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



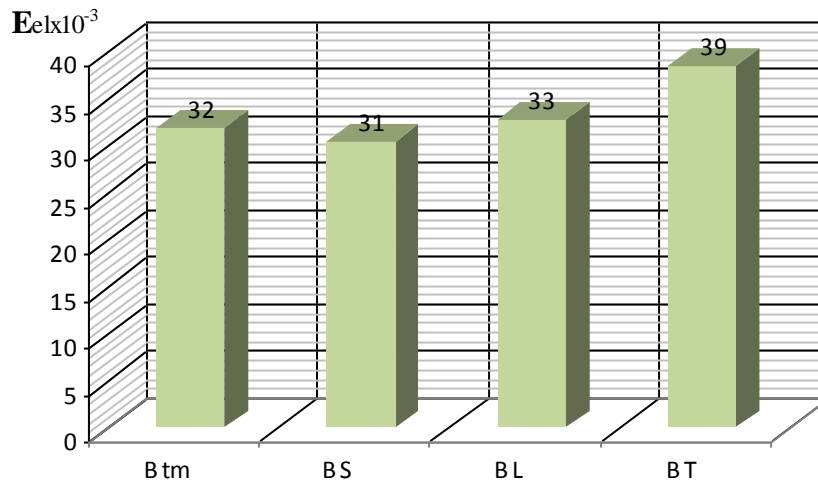
**Figure 3.46 :** Déformations élasto-instantanées transversales du béton  $\epsilon_{2el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



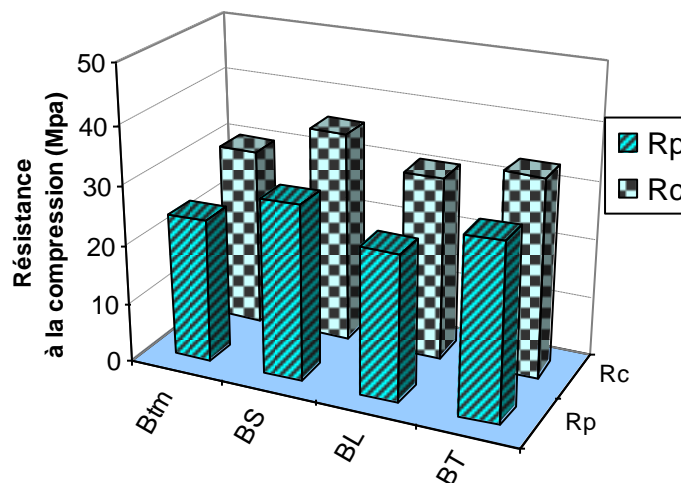
**Figure 3.47 :** Déformations élasto-instantanées totales transversales du béton  $\epsilon_{2Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



**Figure 3.48 :** Module de déformabilité E du béton en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



**Figure 3.49 :** Module d'élasticité des bétons Btm, BS, BT et BL pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6



**Figure 3.50 :** Résistance mécanique à la compression cubique (Rc) et prismatique (Rp) en fonction du type de sable pour le dosage de 350 Kg/m<sup>3</sup> et le rapport E/C=0,6

### 3.11. Conclusion

Le but de notre travail a porté essentiellement sur l'étude de la possibilité de l'utilisation du sable des carrières comme substitution au sable d'oued pour la fabrication du béton ainsi que l'effet d'adjuvant fluidifiant (superplastifiant) et un ajout minéral (pouzzolane naturelle) sur les propriétés mécaniques et rhéologiques de ce genre du béton. L'étude présente une démarche expérimentale visant à déterminer les performances des types du béton composé à base de différents types du sable de carrières dans le but de tenter de comprendre les influences de substitution du sable d'oued par le sable des carrières sur les différentes caractéristiques du béton. Les influences sur l'ouvrabilité, l'absorption, coefficient de ramollissement, la résistance à la compression, la résistance à la traction et la déformabilité sont les paramètres retenus dans cette étude.

D'après cette étude, on conclut que la présence des fines en proportion modérée dans un sable concassé est une nécessité, les résultats obtenus avec différents pourcentages de fines, ont mis en évidence l'intérêt de l'ajout des fillers calcaires pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers et bétons. Le béton à base de sable concassé ne se distingue pas particulièrement, sur l'aspect mécanique, des bétons classiques.

Finalement on constate que les meilleures performances généralement reviennent aux bétons à base de sable de carrières tamisé (BT). Les autres bétons présentent eux aussi des qualités de maniabilité et de résistances acceptables en présence des facteurs qui améliorent ces deux propriétés notamment le superplastifiant et la pouzzolane.

Par conséquent, on peut conclure que, le sable de concassage constitue une solution idéale au problème d'approvisionnement. Ainsi, on peut conclure que ces matériaux locaux (sable de concassage) peuvent remplacer avantageusement le sable siliceux. Mais à l'influence importante de pourcentage des fines, on peut bien améliorer la qualité de ce type de béton en incorporant des adjuvants fluidifiants et des ajouts minéraux.