

## 4. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

### 4.1 ETUDE DES MORTIERS

#### 4-1-1 Comportement du mortier à l'état frais

##### 4-1-1.1 Ouvrabilité :

La quantité d'eau de gâchage conditionne, en grande partie, l'ouvrabilité d'un mortier s'il existait toutefois un moyen de la spécifier et de la mesurer ce serait en fonction de la maniabilité. Pour les différents sables, des quantités d'eau successives seront ajoutées aux mélanges jusqu'à obtention d'une maniabilité constante. Pour ce faire nous avons utilisé une table de secousse. Pour les différents dosages en ciment (voir tableaux 4-1 à 4-6).

D'après les figures 4-1 à 4-4 on remarque que le rapport E/C des différents mélanges varie dans le même sens que le taux de substitution en sables recyclés. Cela se traduit par la présence des fines en grande quantité dans le sable de démolition de béton concasse .tandis que les sables issus de concassage de brique ont une porosité élevé plus la nature du matériau argileux.

Par ailleurs le rapport E/C d'une même composition de mortier diminue en fonction du dosage de ciment.

**Tableau 4-1 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un étalement constante avec un CPJ 300 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| <b>100/0/0</b>  | 0.83  | 249.0                              | 111.0          | 106-115                  |
| <b>80/20/0</b>  | 0.85  | 255.0                              | 112.5          |                          |
| <b>70/30/0</b>  | 0.87  | 261.0                              | 108.5          |                          |
| <b>50/50/0</b>  | 0.90  | 270.0                              | 107.0          |                          |
| <b>30/70/0</b>  | 0.92  | 276.0                              | 109.0          |                          |
| <b>80/0/20</b>  | 0.92  | 276.0                              | 110.5          |                          |
| <b>70/0/30</b>  | 0.94  | 282.0                              | 109.5          |                          |
| <b>50/0/50</b>  | 0.98  | 294.0                              | 114.0          |                          |
| <b>30/0/70</b>  | 1.06  | 318.0                              | 114.5          |                          |

**Tableau 4-2 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un étalement constant avec un CPJ 350 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| 100/0/0         | 0.67  | 235.0                              | 110.5          | 106-115                  |
| 80/20/0         | 0.69  | 241.00                             | 111.5          |                          |
| 70/30/0         | 0.71  | 246.70                             | 107.5          |                          |
| 50/50/0         | 0.74  | 258.50                             | 108.5          |                          |
| 30/70/0         | 0.75  | 264.30                             | 112.0          |                          |
| 80/0/20         | 0.77  | 270.0                              | 113.5          |                          |
| 70/0/30         | 0.79  | 276.00                             | 112.5          |                          |
| 50/0/50         | 0.84  | 294.00                             | 107.5          |                          |
| 30/0/70         | 0.87  | 305.40                             | 109.0          |                          |

**Tableau 4-3 : Quantité d'eau réellement utilisée kg/m<sup>3</sup> pour un étalement constant avec un CPJ 400 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| 100/0/0         | 0.56  | 225.0                              | 115.0          | 106-115                  |
| 80/20/0         | 0.58  | 231.0                              | 112.0          |                          |
| 70/30/0         | 0.59  | 237.0                              | 109.5          |                          |
| 50/50/0         | 0.62  | 248.50                             | 107.5          |                          |
| 30/70/0         | 0.64  | 254.5                              | 106.5          |                          |
| 80/0/20         | 0.68  | 272.20                             | 111.5          |                          |
| 70/0/30         | 0.71  | 284.0                              | 107.5          |                          |
| 50/0/50         | 0.77  | 308.0                              | 108.5          |                          |
| 30/0/70         | 0.80  | 320.0                              | 109.0          |                          |

**Tableau 4-4 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un étalement constant avec un CRS  
300 kg/m<sup>3</sup>**

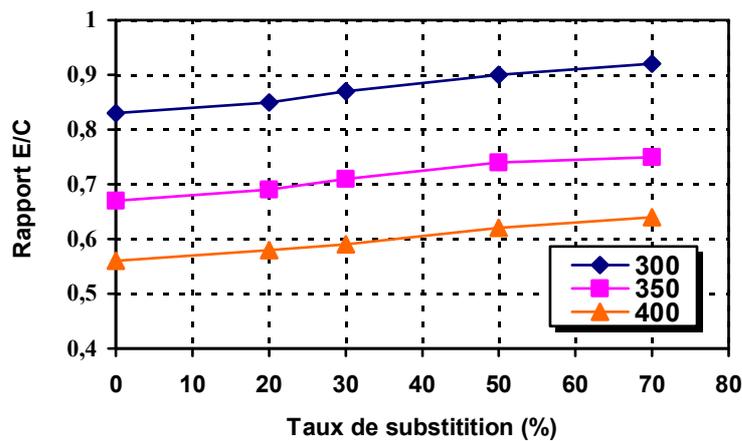
| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| <b>100/0/0</b>  | 0.83  | 249.0                              | 111.0          | 106-115                  |
| <b>80/20/0</b>  | 0.85  | 255.0                              | 112.5          |                          |
| <b>70/30/0</b>  | 0.87  | 261.0                              | 108.5          |                          |
| <b>50/50/0</b>  | 0.90  | 270.0                              | 107.0          |                          |
| <b>30/70/0</b>  | 0.92  | 276.0                              | 109.0          |                          |
| <b>80/0/20</b>  | 0.92  | 276.0                              | 110.5          |                          |
| <b>70/0/30</b>  | 0.94  | 282.0                              | 109.5          |                          |
| <b>50/0/50</b>  | 0.98  | 294.0                              | 114.0          |                          |
| <b>30/0/70</b>  | 1.06  | 318.0                              | 114.5          |                          |

**Tableau 4-5 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un étalement constant avec un CRS  
350 kg/m<sup>3</sup>**

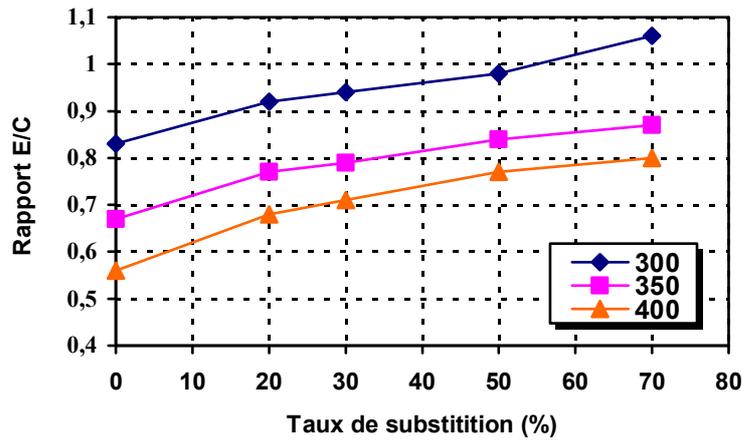
| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| <b>100/0/0</b>  | 0.67  | 235.0                              | 110.5          | 106-115                  |
| <b>80/20/0</b>  | 0.69  | 241.0                              | 111.5          |                          |
| <b>70/30/0</b>  | 0.70  | 247.0                              | 107.5          |                          |
| <b>50/50/0</b>  | 0.74  | 258.5                              | 108.5          |                          |
| <b>30/70/0</b>  | 0.75  | 264.30                             | 112.0          |                          |
| <b>80/0/20</b>  | 0.79  | 276.0                              | 114.5          |                          |
| <b>70/0/30</b>  | 0.80  | 282.0                              | 113.5          |                          |
| <b>50/0/50</b>  | 0.87  | 305.4                              | 111.5          |                          |
| <b>30/0/70</b>  | 0.91  | 317.0                              | 110.0          |                          |

**Tableau 4-6 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un étalement constant avec un CRS 400 kg/m<sup>3</sup>**

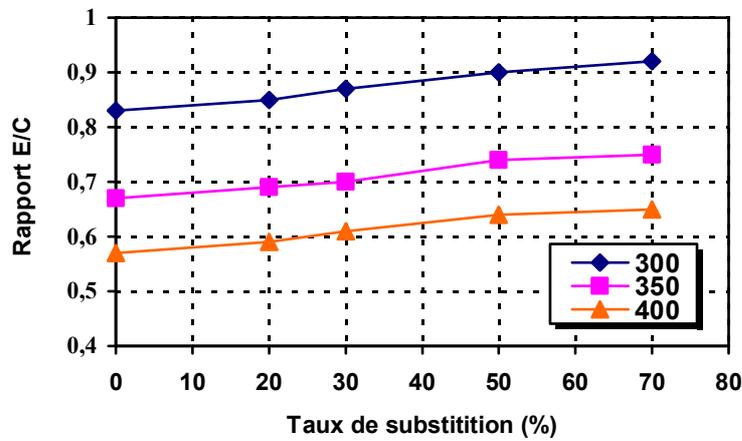
| Type de mortier | E / C | Quantité d'eau réellement utilisée | Etalement (mm) | Etalement Normalisé (mm) |
|-----------------|-------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| 100/0/0         | 0.57  | 231.0                              | 112.5          | 106-115                  |
| 80/20/0         | 0.59  | 237.0                              | 106.5          |                          |
| 70/30/0         | 0.61  | 243.0                              | 108.0          |                          |
| 50/50/0         | 0.64  | 254.5                              | 109.5          |                          |
| 30/70/0         | 0.65  | 260.5                              | 111.5          |                          |
| 80/0/20         | 0.68  | 272.20                             | 107.5          |                          |
| 70/0/30         | 0.71  | 284.0                              | 109.0          |                          |
| 50/0/50         | 0.74  | 296.0                              | 111.0          |                          |
| 30/0/70         | 0.77  | 308.0                              | 113.5          |                          |



*Figure 4-1 : Evolution du rapport E/C des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CPJ*



*Figure 4-2 : Evolution du rapport E/C des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ*



*Figure 4-3 : Evolution du rapport E/C des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS*

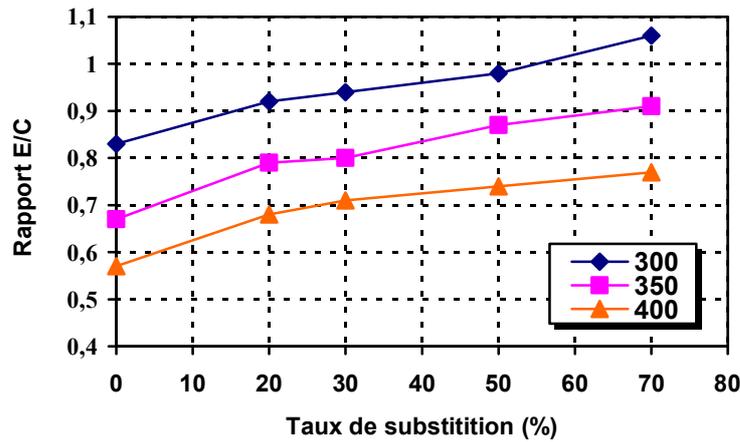


Figure 4-4 : Evolution du rapport E/C des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS

#### 4-1-2 Comportement du mortier à l'état durci

##### 4-1-2-1 Résistance à la compression

La résistance mécanique du mortier après durcissement dépend du rapport E/C, de la qualité et nature de sable, du mode de conservation du mortier et de l'échéance de l'essai. Cette résistance mécanique est caractérisée par sa classe de résistance à la rupture par compression et flexion.

Nous présentons les résultats des essais de la résistance à la compression et à la flexion effectués sur les éprouvettes de dimensions 4x4x16 cm et (7x7x7) cm<sup>3</sup> dans les tableaux (4-7 et 4-8)

Tableau 4-7 : Résistance à la compression des mortiers à base de sables recyclés pour des dosages de ciments respectifs 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup> sur des éprouvettes (4x4x16) cm<sup>3</sup>

| Type de mortier | Résistance à la compression MPA |              |              |              |              |              |
|-----------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | Dosage 300                      |              | Dosage 350   |              | Dosage 400   |              |
|                 | CPJ                             | CRS          | CPJ          | CRS          | CPJ          | CRS          |
|                 | <b>1<sup>ère</sup> série</b>    |              |              |              |              |              |
| <b>100/0/0</b>  | <b>12.00</b>                    | <b>22.50</b> | <b>19.50</b> | <b>30.00</b> | <b>24.00</b> | <b>42.00</b> |
| 80/20/0         | 11.00                           | 21.00        | 18.00        | 28.00        | 22.00        | 40.50        |
| 70/30/0         | 10.00                           | 19.50        | 16.75        | 26.50        | 21.00        | 39.00        |
| 50/50/0         | 8.75                            | 17.00        | 14.00        | 24.00        | 18.00        | 37.00        |
| 30/70/0         | 7.00                            | 13.50        | 10.00        | 21.00        | 14.00        | 32.00        |
|                 | <b>2<sup>ème</sup> série</b>    |              |              |              |              |              |
| 80/0/20         | 9.00                            | 18.00        | 13.50        | 25.00        | 18.00        | 32.00        |
| 70/0/30         | 7.60                            | 16.00        | 11.00        | 22.50        | 15.50        | 28.00        |
| 50/0/50         | 4.80                            | 12.50        | 6.75         | 18.00        | 9.40         | 22.00        |
| 30/70/0         | 2.75                            | 9.00         | 4.00         | 14.00        | 5.60         | 18.00        |

**1<sup>ère</sup> série:** Substitution en sable recyclés de béton de démolition

**2<sup>ème</sup> série:** Substitution en sable recyclés de déchet de brique concassé

**Tableau 4-8: Résistance à la compression pour mortier dosé à 400 kg/m<sup>3</sup> à base de sables recycles sur des éprouvettes (7x7x7) cm<sup>3</sup>**

| DESINATION     | Résistance à la compression MPA |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | Dosage 300                      |              | Dosage 350   |              | Dosage400    |              |
|                | CPJ                             | CRS          | CPJ          | CRS          | CPJ          | CRS          |
| <b>100/0/0</b> | <b>12.70</b>                    | <b>24.00</b> | <b>20.80</b> | <b>28.00</b> | <b>25.00</b> | <b>43.00</b> |
| <b>50/50/0</b> | 9.50                            | 18.00        | 12.83        | 22.00        | 19.00        | 36.00        |
| <b>80/0/20</b> | 10.40                           | 11.42        | 13.20        | 15.00        | 16.00        | 32           |

Les graphes 4-5 à 4-8 montrent que :

- ✓ Les mortiers à base des sables recyclés présentent des résistances à la compression plus faible par rapport aux mortiers naturels qui nécessitent une augmentation du dosage et présentent un inconvénient du point de vue économique ;
- ✓ Un mortier à base de sable concassé avec un taux de substitution de 20% présente une meilleure résistance à la compression ;
- ✓ Au de la de 20% la résistance à la compression chute ;
- ✓ Un mortier à base de sable de brique concassé avec un taux de substitution de 20% présente une meilleure résistance à la compression cependant elle est inférieure à celle du sable de béton concassé et cela peut être expliqué par la présence de matériaux argileux et la porosité élevé du sable concassé de brique ;
- ✓ Avec le taux de substitution de 70% la résistance à la compression d'un mortier à base de sable concassé de brique chute d'une façon considérable ;
- ✓ La résistance à la compression augmente avec le dosage en ciment dans tous les mortiers étudiés,
- ✓ Pour les essais effectués sur les éprouvettes de dimensions 7x7x7cm<sup>3</sup>  
Les résultats ont les mêmes tendances que celles des éprouvettes 4x4x16.

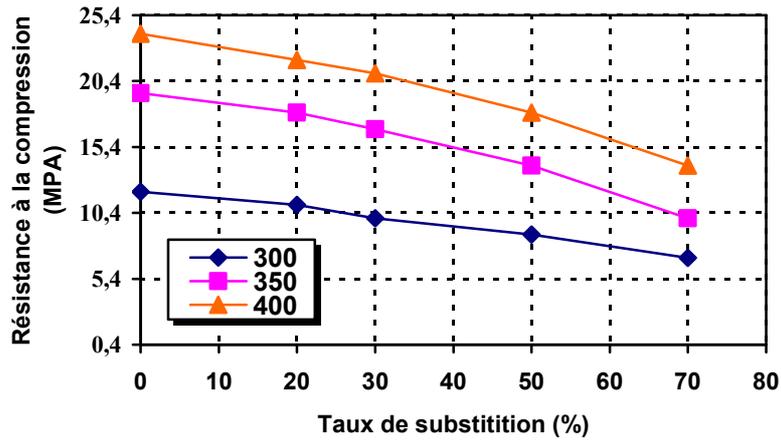


Figure 4-5 : Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CPJ

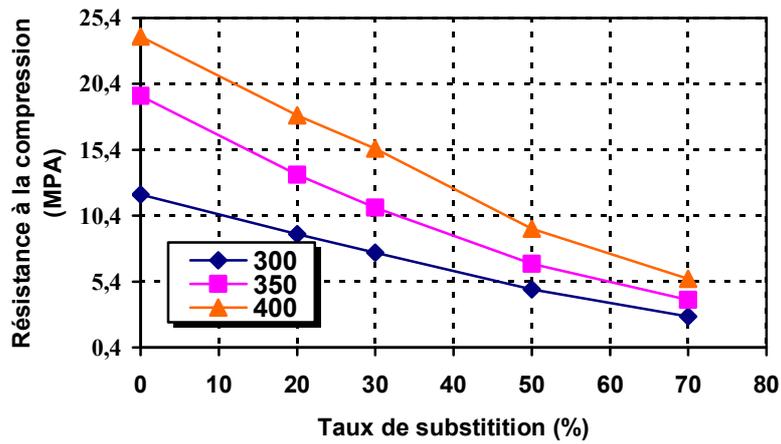
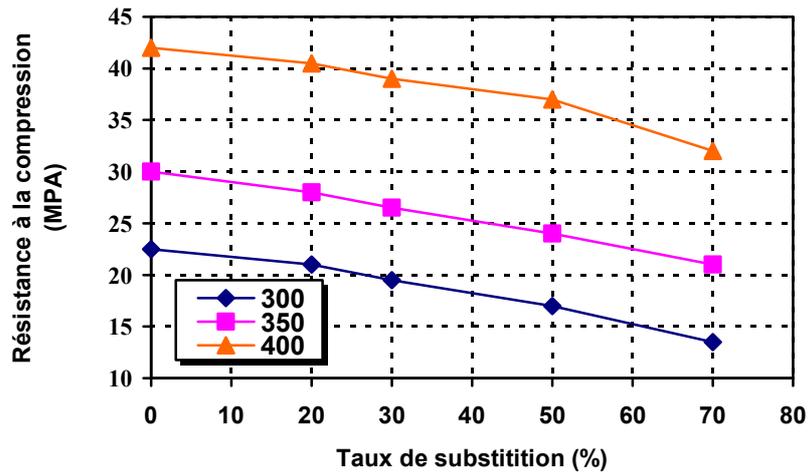
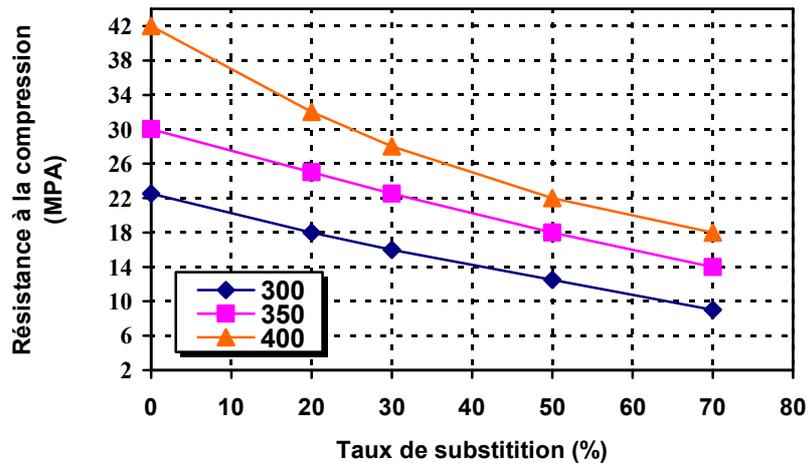


Figure 4-6 : Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ



*Figure 4-7: Résistance à la compression des mortiers à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS*



*Figure 4-8 : Résistance à la compression des mortiers à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS*

## 4-1-2-2 Résistance à la traction et à la flexion

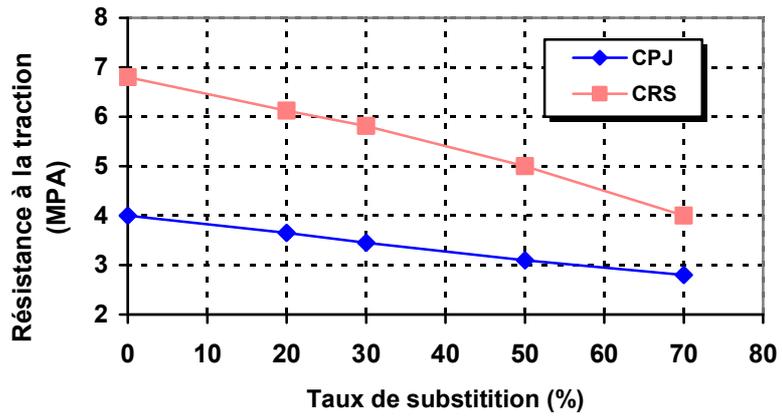
Tableau 4-9 : Résistance à la traction et à la flexion pour différents dosages de Ciment CPJ 42.5

| Désignation    | Dosage 300  |             | Dosage 350  |             | Dosage 400  |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                | Rf          | Rt          | Rf          | Rt          | Rf          | Rt          |
| <b>100/0/0</b> | <b>4.00</b> | <b>3.40</b> | <b>4.77</b> | <b>4.00</b> | <b>6.12</b> | <b>5.22</b> |
| 80/20/0        | 3.80        | 3.20        | 4.30        | 3.65        | 5.35        | 4.50        |
| 70/30/0        | 3.00        | 3.00        | 4.00        | 3.45        | 5.30        | 4.42        |
| 50/50/0        | 2.80        | 2.50        | 3.66        | 3.10        | 5.20        | 4.42        |
| 30/70/0        | 1.80        | 1.00        | 3.30        | 2.80        | 5.00        | 4.27        |
| 80/020         | 2.00        | 1.70        | 2.50        | 2.15        | 3.85        | 3.30        |
| 70/0/30        | 1.50        | 1.20        | 1.96        | 1.62        | 3.57        | 3.00        |
| 50/050         | 1.20        | 0.95        | 1.50        | 1.30        | 3.00        | 2.53        |
| 30/070         | 1.00        | 0.85        | 1.30        | 1.00        | 2.55        | 2.20        |

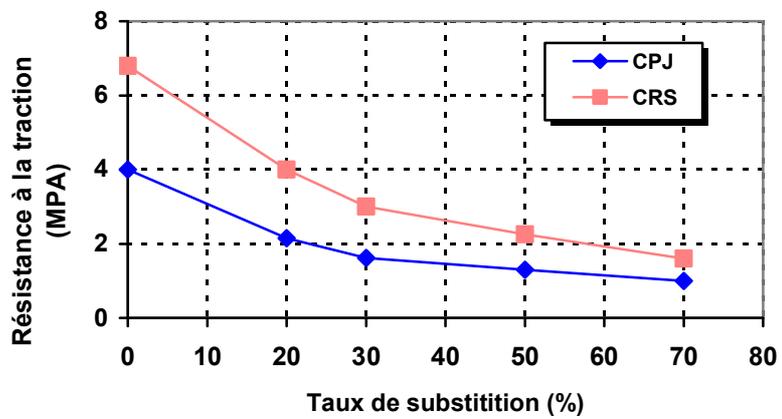
Tableau 4-10 : Résistance à la traction et à la flexion pour différents dosages de Ciment CRS42.5

| Désignation    | Dosage 300  |             | Dosage 350  |             | Dosage 400  |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                | Rf          | Rt          | Rf          | Rt          | Rf          | Rt          |
| <b>100/0/0</b> | <b>7.00</b> | <b>5.57</b> | <b>8.00</b> | <b>6.80</b> | <b>8.40</b> | <b>7.15</b> |
| 80/20/0        | 6.00        | 4.95        | 7.30        | 6.12        | 8.00        | 5.56        |
| 70/30/0        | 5.00        | 4.20        | 6.81        | 5.81        | 7.80        | 6.70        |
| 50/50/0        | 4.83        | 4.00        | 5.85        | 5.00        | 7.40        | 6.30        |
| 30/70/0        | 3.85        | 3.00        | 4.80        | 4.00        | 6.50        | 5.42        |
| 80/020         | 3.50        | 3.00        | 4.50        | 4.00        | 6.25        | 5.34        |
| 70/0/30        | 3.20        | 2.75        | 3.50        | 3.00        | 6.00        | 5.10        |
| 50/050         | 1.95        | 1.65        | 2.65        | 2.25        | 3.00        | 2.60        |
| 30/070         | 1.40        | 1.30        | 2.00        | 1.60        | 2.40        | 1.80        |

D'après les figures 4-9 à 4-12 la résistance à la traction par flexion est inversement proportionnelle au taux de substitution en sable à base de béton concassé et de brique concassé.



*Figure 4-9 Résistance à la traction des mortiers à base de sable de béton concassé dosé à 350 kg/m<sup>3</sup>*



*Figure 4-10 Résistance à la traction des mortiers à base de sable de brique concassé dosé à 350 kg/m<sup>3</sup>*

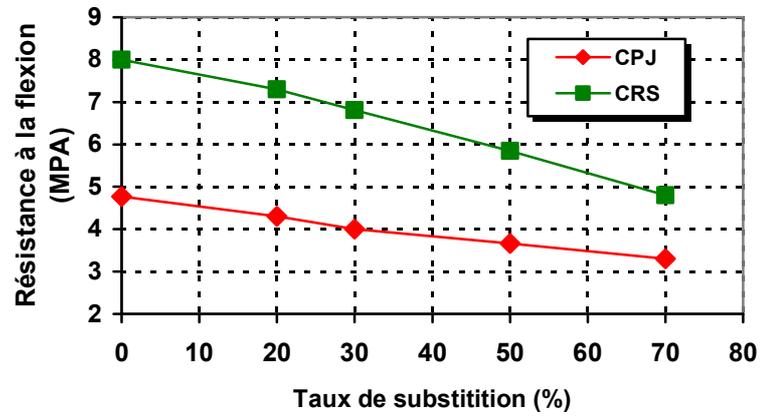


Figure 4-11 Résistance à la flexion des mortiers à base de sable de béton concassé dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$

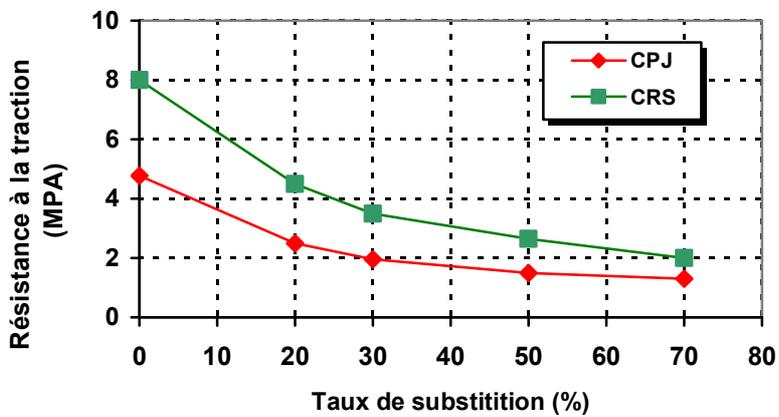


Figure 4-12 Résistance à la flexion des mortiers à base de sable de brique concassé dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$

#### 4-1-2-3 Résistance à la flexion

On a aussi réalisé des essais de flexion par traction sur des éprouvettes de dimension 7x7x28 cm, les résultats sont mentionnés au tableau qui suit :

**Tableau 4-11 Résistance à la flexion et à la compression pour un dosage de 400 kg/m<sup>3</sup>**

| Désignation    | Résistance en MPA |            |              |            |              |            |              |            |
|----------------|-------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                | CPJ               |            |              |            | CRS          |            |              |            |
|                | RF                | %          | RC           | %          | RF           | %          | RC           | %          |
| <b>100/0/0</b> | <b>0.065</b>      | <b>100</b> | <b>42.00</b> | <b>100</b> | <b>0.072</b> | <b>100</b> | <b>45.00</b> | <b>100</b> |
| 80/0/20        | 0.045             | 69.30      | 22.65        | 54.00      | 0.054        | 75.00      | 31.63        | 70.30      |
| 50/50/0        | 0.036             | 55.40      | 35.71        | 85.00      | 0.045        | 62.50      | 44.48        | 98.85      |

On remarque que les résistances à la flexion et à la compression diminuent lorsque le taux de substitution des sables recyclés a augmenté dans les sables (SDB, SDBR).

#### 4-1-3 Influence de l'adjuvant sur les propriétés mécaniques

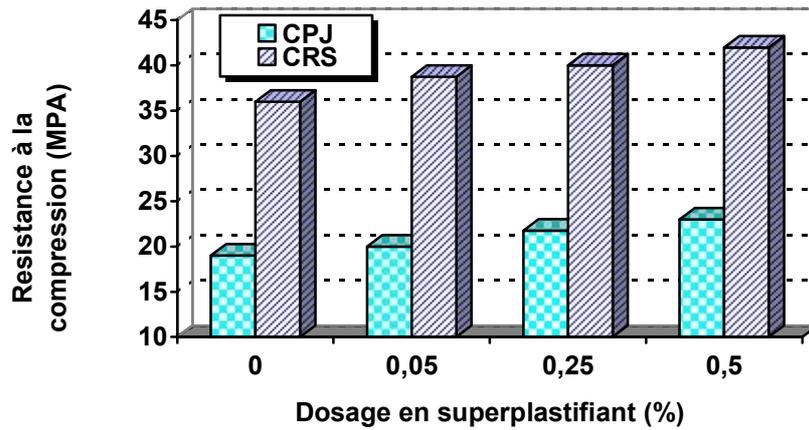
Afin d'améliorer le comportement du mortier frais et durci à base de sable recyclé, un adjuvant super plastifiant du type MEDAFLAW 30(Granitex) a été incorporé sur les deux meilleures compositions des deux séries de mortiers recyclés, soit 80/0/20 et 50/50/0.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4-12

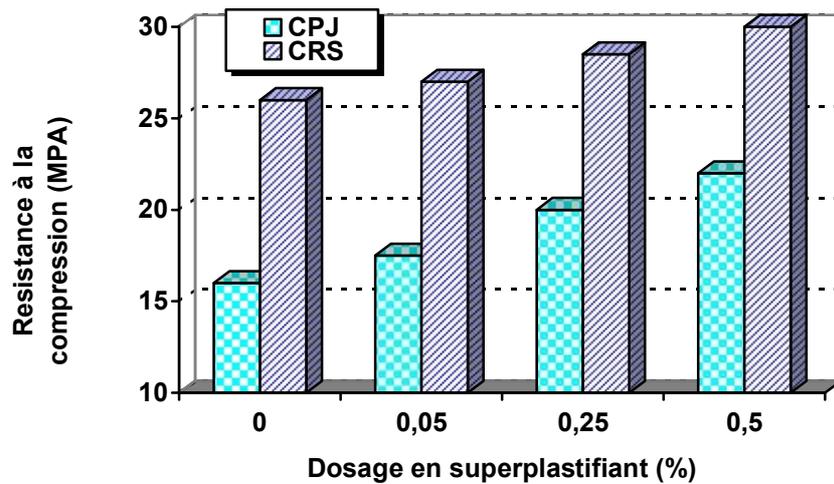
D'après les figures 4-13 et 4-14 nous remarquons que l'adjuvant influe favorablement sur les propriétés du mortier recyclé. Une légère amélioration de la résistance à la compression est observée. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par les autres chercheurs comme **Merlet et Pimienta**.

**Tableau 4-12 Influence de l'ajout d'un superplastifiant sur la résistance des mortiers à base d'agrégats recyclés**

| Type de mortier | R28 (MPA) Sans adjuvats |              | R28 (MPA) avec adjuvats |              |             | R28 (MPA) avec adjuvats |              |             |
|-----------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------|
|                 | CPJ                     | CRS          | CPJ                     |              |             | CRS                     |              |             |
| <b>100/0/0</b>  | <b>25.00</b>            | <b>43.00</b> | <b>0.05%</b>            | <b>0.25%</b> | <b>0.5%</b> | <b>0.05%</b>            | <b>0.25%</b> | <b>0.5%</b> |
| 50/50/0         | 19.00                   | 36.00        | 20.00                   | 21.75        | 23.00       | 38.75                   | 40.00        | 42.00       |
| 80/0/20         | 16.00                   | 26.00        | 17.50                   | 20.00        | 22.00       | 27.00                   | 28.50        | 30.00       |



*Figure 4-13 : Influence du superplastifiant sur la résistance des mortiers à base de 50% de sable de béton*



*Figure 4-14 : Influence du superplastifiant sur la résistance des mortiers à base de 20% de sable de brique*

#### 4.-1-4 Effet de la fumée de silice sur la Résistance des mortiers recyclés avec l'ajout d'un superplastifiant.

La très grande surface spécifique de la fumée de silice, qui doit être mouillée, augmente le besoin en eau en sorte que, dans les mortiers de faible rapport eau / liant, il est nécessaire d'utiliser un superplastifiant .De cette façon, il est possible de conserver à la fois le rapport E/C

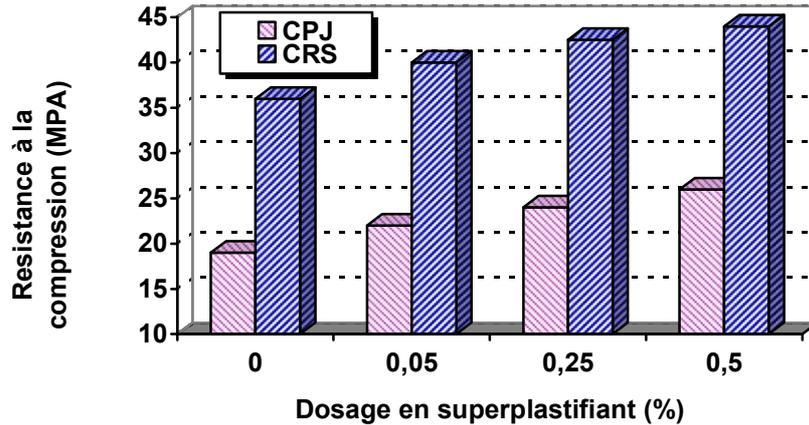
spécifié et la maniabilité nécessaire. L'efficacité du superplastifiant est augmentée par la présence de la fumée de silice ce qui a été observé pour les mortiers à base de sables recyclés.

Pour une teneur de 8% en fumée de silice (de la masse totale du liant), on remarque (voir tableau 4-13) une amélioration très importante de la résistance à la compression pour un dosage de 0.5 % du superplastifiant et peut atteindre 25% de celle du mortier sans adjuvant. Et qui atteint la valeur des mortiers témoins avec 0.5% d'adjuvant et 8% de fumée de silice pour 50/50/0 (SDB). Pour les ciments CPJ et CRS.

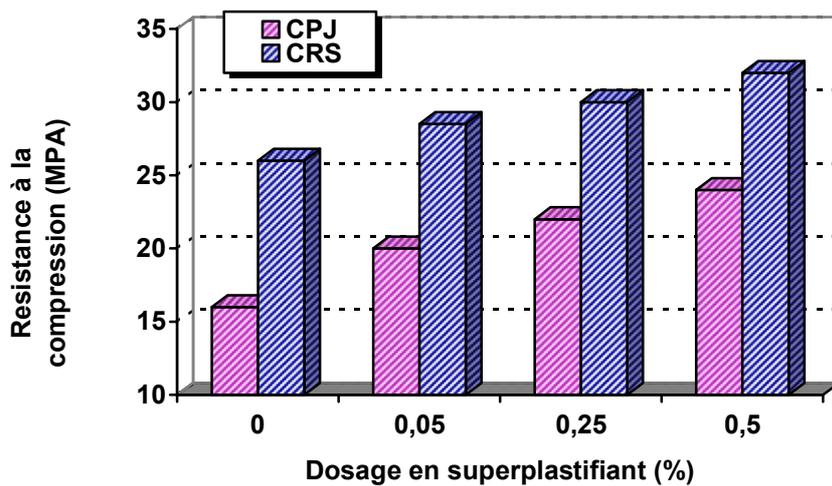
**Tableau 4-13 Résistance à la compression des mortiers recyclés ayant une teneur de 8% en fumée de silice pour différents dosages en superplastifiant.**

| Type de mortier | R28 (MPA) Sans adjuvats |              | R28 (MPA) avec adjuvats+8%FS |              |             | R28 (MPA) avec adjuvats +8%FS |              |             |
|-----------------|-------------------------|--------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|--------------|-------------|
|                 | CPJ                     | CRS          | CPJ                          |              |             | CRS                           |              |             |
| <b>100/0/0</b>  | <b>25.00</b>            | <b>43.00</b> | <b>0.05%</b>                 | <b>0.25%</b> | <b>0.5%</b> | <b>0.05%</b>                  | <b>0.25%</b> | <b>0.5%</b> |
| 50/50/0         | 19.00                   | 36.00        | 22.00                        | 23.50        | 25.50       | 40.00                         | 42.50        | 44.00       |
| 80/0/20         | 16.00                   | 26.00        | 20.00                        | 22.00        | 23.50       | 28.50                         | 30.00        | 32.00       |

Les figures (histogrammes) 4-15 et 4-16, montrent que la présence de la fumée de silice dans les mortiers à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de ces derniers et d'une manière analogue que pour les mortiers conventionnels. Cette action particulière est due au fait que les grains de la fumée de silice ont un diamètre environ 100 fois plus petit que celui des plus petits grains de ciment, et que cette finesse des grains diminue le ressuage.



*Figure 4-15 : Effet de la fumée de silice (8%) sur la résistance des mortiers à base de 50% de sable de béton*



*Figure 4-16 : Effet de la fumée de silice (8%) sur la résistance des mortiers à base de 20% de sable de brique*

#### 4-1-5 Perte de masse

- Perte de masse à l'air

Des éprouvettes cubiques de  $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$  ont été laissés durcir à l'air libre et leur poids est défini périodiquement ; la perte causée par la dissipation de l'eau engendre une diminution de son poids total (tableau 4-14). En comparant la cinétique de cette perte avec celle de retrait, on remarque que le retrait se stabilise après sa troisième semaine tandis que la dissipation continue avec des valeurs très faibles.

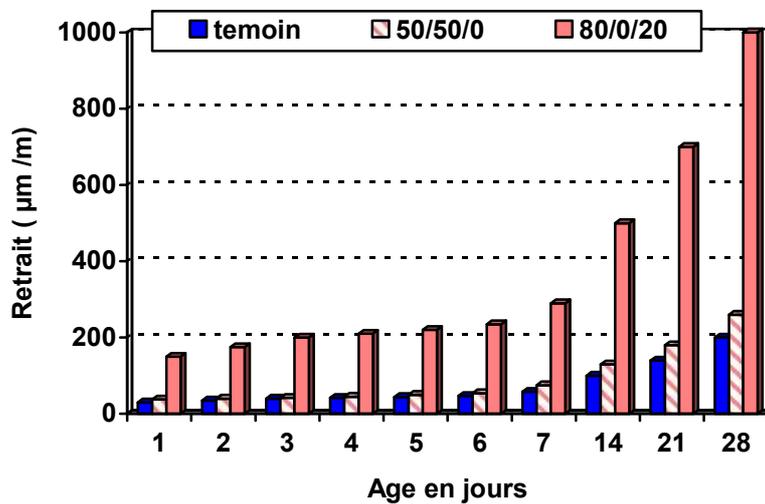
▪ **Perte de masse à l'eau**

L'absorption d'eau est mesurée sur des éprouvette cubiques de  $7 \times 7 \times 7 \text{ cm}^3$  immergées sous l'eau aussitôt après leur démoulage ; les mesures ont été effectuées par des simples pesées et on détermine le pourcentage de poids ajouté par l'absorption d'eau (tableau 4-14), cette augmentation de poids est causée par la porosité des granulats.

**Tableau 4-14 : perte de masse pour un dosage de  $400 \text{ kg/m}^3$**

|                |         | Perte de masse % |   |      |     |     |     |     |      |     |     |     |
|----------------|---------|------------------|---|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| Temps en jours |         | 1                | 2 | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 14   | 21  | 28  |     |
| A l'air        | 100/0/0 | CPJ              | 0 | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 2    | 2   | 2   | 2   |
|                |         | CRS              | 0 | 0.50 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1    | 1   | 1   | 1   |
|                | 50/50/0 | CPJ              | 0 | 3    | 3   | 4   | 4   | 4   | 4    | 5   | 5   | 5   |
|                |         | CRS              | 0 | 2    | 2   | 3   | 3   | 3   | 3    | 3   | 4   | 4   |
|                | 80/0/20 | CPJ              | 0 | 9    | 12  | 13  | 13  | 13  | 13   | 14  | 14  | 14  |
|                |         | CRS              | 0 | 13   | 14  | 14  | 14  | 14  | 15   | 15  | 15  | 15  |
| A l'eau        | 100/0/0 | CPJ              | 0 | 0.5  | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5  | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
|                |         | CRS              | 0 | 0    | 0   | 0   | 0   | 0.2 | 0.21 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
|                | 50/50/0 | CPJ              | 0 | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1   | 1   | 1   |
|                |         | CRS              | 0 | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1   | 1   | 1   |
|                | 80/0/20 | CPJ              | 0 | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1   | 1   | 1   |
|                |         | CRS              | 0 | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1   | 1   | 1   |

**4.1 .6 Retrait et gonflement**



**Figure 4-17: Retrait à l'air des mortiers à base de CPJ**

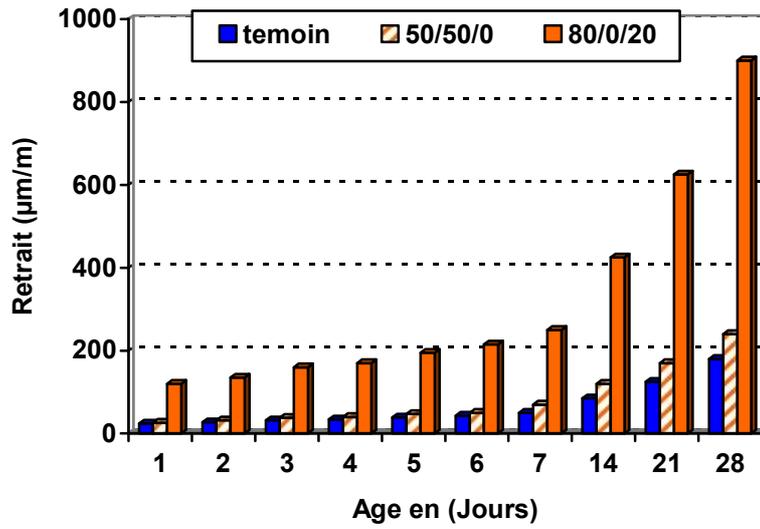


Figure 4-18: Retrait à l'air des mortiers à base de CRS

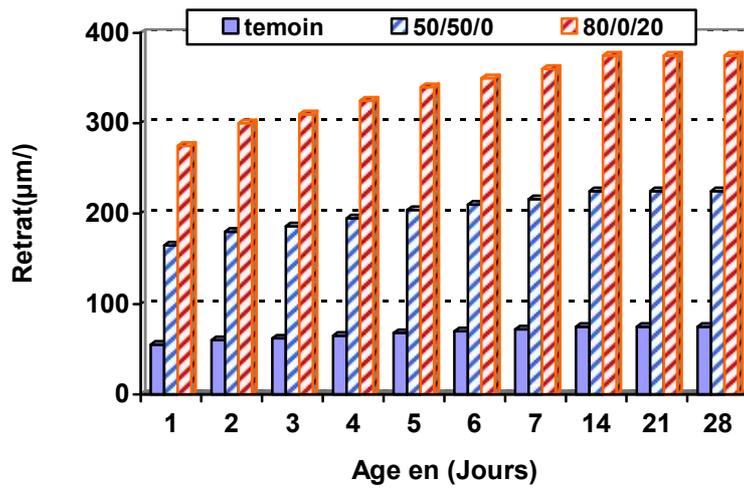


Figure 4-19: Retrait à l'eau des mortiers à base de CPJ

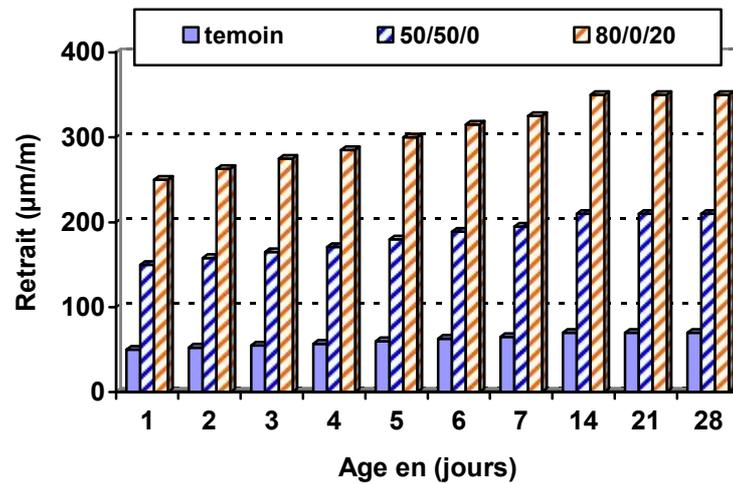


Figure 4-20:Retrait à l'eau des mortiers à base de CRS

D'après les figures 4-17 à 4-20, on remarque qu'en général :

- ☞ Les retraits des mortiers recyclés sont nettement plus importants que ceux du mortier témoin.
- ☞ Pour les mortiers recyclés à base de sable concassé de béton, le retrait est plus grand d'environ 25 % des le jeune âge et atteint 30% à 28jours.
- ☞ Pour le mortier recyclé à base de sables de brique concassée, l'évolution est différent; le retrait au jeune âge est presque cinq fois plus important que celui du mortier témoin et arrive à 28 jours avec le même taux d'augmentation.
- ☞ Les gonflements des mortiers recyclés sont plus importants que ceux du mortier témoin.
- ☞ Ils sont presque trois fois plus grand pour ceux du mortier témoin pour le sable issu du concassage de béton démolé au jeune âge et se stabilisent a partir de la troisième semaine jusqu' à 28 jours.
- ☞ Ils sont presque cinq fois plus grands pour celui du mortier témoin pour le sable issu de brique concassée au jeune âge et se stabilisent a partir de la troisième semaine jusqu' à 28 jours.
- ☞ Le retrait élevé du mortier à base d'agrégats concassés est probablement du à la porosité élevée des sables recyclés ainsi que le degré important d'absorption d'eau du mortier de béton ancien qui couvre ces granulats recyclés.

## 4-2 ETUDES DES BETONS

Elle consiste à étudier des bétons avec les mêmes sables recyclés et le sable naturel comme témoin et des agrégats naturels, avec des dosages de 300, 350,400 et 450 en utilisant deux types de ciments : CPJ42.5 et CRS 42.5.

## 4.2.1 Comportement rhéologique des bétons frais

### 4.2.1.1 Consistance des bétons frais

La composition des bétons a été faite avec un affaissement constant au cône d'Abrams de l'ordre de 70mm la valeur faisant partie de la fourchette de consistance des bétons plastiques (50 à 90mm).

Les tableaux (4-21 à 4-24) donnent les quantités d'eau réellement utilisées et les quantités effectivement ajoutées (compte tenu du pourcentage élevé d'absorption d'eau des sables recyclés) ainsi que la fluidité réelle mesurée. Parallèlement, relative à la fluidité idéale, sont reprises les quantités d'eau ajoutée par rapport à la quantité d'eau de gâchage de béton témoin nécessaire pour avoir un affaissement de 70mm au cône d'Abras.

D'après les figures 4-17 à 4-20, nous remarquons que pour obtenir une fluidité constante, il faut augmenter la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage des bétons de sables recyclés. Ceci est logique car les sables recyclés contiennent des particules fines qui absorbent beaucoup d'eau (6% à 10% pour les sables de démolition de béton concassé et entre 8.5 à 15% pour les sables de démolition de brique concassé)

Nous notons que le rapport E /C d'une même composition de béton diminue suite à un dosage élevé en ciment.

**Tableau 4-16 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 300 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de béton | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> ) | Affaissement mesuré (cm) | Affaissement choisi (cm) | Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l) |
|---------------|------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 100/0/0       | 0.66 | 200  | 5                        | 5 ÷ 7                    | 0                                     |
| 80/20/0       | 0.68 | 202  | 5                        |                          | 2                                     |
| 70/30/0       | 0.69 | 205  | 5.2                      |                          | 5                                     |
| 50/50/0       | 0.70 | 211  | 5.3                      |                          | 11                                    |
| 30/70/0       | 0.71 | 212  | 5.3                      |                          | 12                                    |
| 80/0/20       | 0.69 | 205  | 5.2                      |                          | 5                                     |
| 70/0/30       | 0.70 | 209  | 5.3                      |                          | 9                                     |
| 50/050        | 0.71 | 213  | 5.4                      |                          | 13                                    |
| 30/070        | 0.72 | 217  | 5.7                      |                          | 17                                    |

**Tableau 4-17 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 350 kg/m<sup>3</sup>**

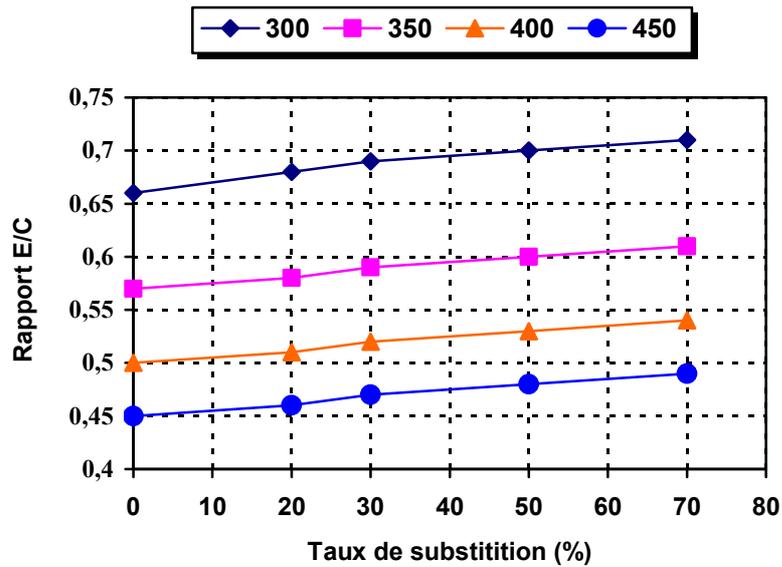
| Type de béton  | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> ) | Affaissement mesuré (cm) | Affaissement choisi (cm) | Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l) |
|----------------|------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>100/0/0</b> | 0.57 | 200  | 5.0                      | 5 ÷ 7                    | 0                                     |
| <b>80/20/0</b> | 0.58 | 205  | 5.2                      |                          | 5                                     |
| <b>70/30/0</b> | 0.59 | 207  | 5.3                      |                          | 7                                     |
| <b>50/50/0</b> | 0.60 | 213  | 5.4                      |                          | 13                                    |
| <b>30/70/0</b> | 0.61 | 215  | 5.4                      |                          | 15                                    |
| <b>80/0/20</b> | 0.59 | 208  | 5.3                      |                          | 8                                     |
| <b>70/0/30</b> | 0.60 | 212  | 5.4                      |                          | 12                                    |
| <b>50/050</b>  | 0.62 | 216  | 5.5                      |                          | 16                                    |
| <b>30/070</b>  | 0.64 | 224  | 6.0                      |                          | 24                                    |

**Tableau 4-18 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 400 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de béton  | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> ) | Affaissement mesuré (cm) | Affaissement choisi (cm) | Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l) |
|----------------|------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| <b>100/0/0</b> | 0.50 | 200  | 5                        | 5 ÷ 7                    | 0                                     |
| <b>80/20/0</b> | 0.51 | 207  | 5.2                      |                          | 7                                     |
| <b>70/30/0</b> | 0.52 | 209  | 5.3                      |                          | 9                                     |
| <b>50/50/0</b> | 0.53 | 215  | 5.5                      |                          | 15                                    |
| <b>30/70/0</b> | 0.54 | 217  | 5.7                      |                          | 17                                    |
| <b>80/0/20</b> | 0.52 | 209  | 5.3                      |                          | 9                                     |
| <b>70/0/30</b> | 0.53 | 213  | 5.4                      |                          | 13                                    |
| <b>50/050</b>  | 0.54 | 217  | 5.7                      |                          | 17                                    |
| <b>30/070</b>  | 0.57 | 228  | 6.3                      |                          | 28                                    |

**Tableau 4-19 : Quantité d'eau réellement utilisée pour un affaissement constant avec un dosage 450 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de béton | E/C  | Quantité d'eau réellement utilisée pour le mélange (l/m <sup>3</sup> ) | Affaissement mesuré (cm) | Affaissement choisi (cm) | Quantité d'eau de gâchage ajoutée (l) |
|---------------|------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 100/0/0       | 0.45 | 200  | 5                        | 5 ÷ 7                    | 0                                     |
| 80/20/0       | 0.46 | 208  | 5.3                      |                          | 8                                     |
| 70/30/0       | 0.47 | 210  | 5.4                      |                          | 10                                    |
| 50/50/0       | 0.48 | 215  | 5.5                      |                          | 15                                    |
| 30/70/0       | 0.49 | 220  | 6.0                      |                          | 20                                    |
| 80/0/20       | 0.47 | 210  | 5.4                      |                          | 10                                    |
| 70/0/30       | 0.48 | 214  | 5.5                      |                          | 14                                    |
| 50/0/50       | 0.49 | 218  | 5.8                      |                          | 18                                    |
| 30/0/70       | 0.52 | 230  | 7                        |                          | 30                                    |



*Figure 4-21 : Evolution du rapport E/C des bétons à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CPJ*

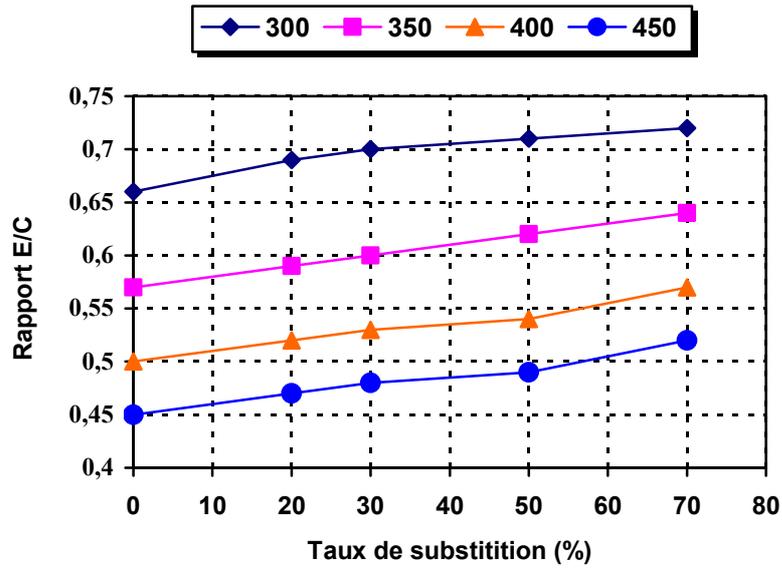


Figure4-22 : Evolution du rapport E/C des bétons à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ

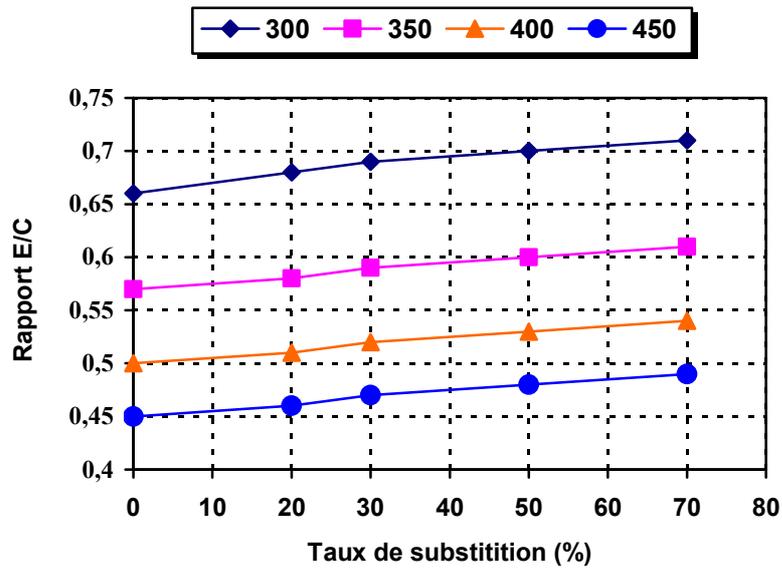


Figure4-23 : Evolution du rapport E/C des bétons à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS

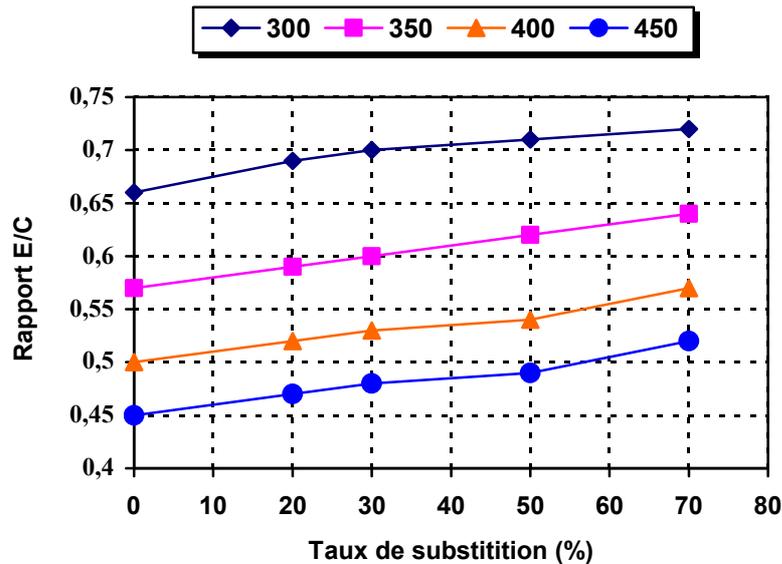


Figure4-24 : Evolution du rapport E/C des bétons à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS

## 4.2.2 Comportement mécaniques des bétons durcis

### 4.2.2.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée à l'âge de 28 jours sur des cubes (10x10x10) cm<sup>3</sup> de 100 mm d'arête selon la procédure de la norme NF P 18-406.

Dans le cadre de cette étude nous avons confectionné deux séries de béton, à base de sables recyclés, et un béton témoin, la première série est partiellement composée de sable de béton concassé (SDB), la deuxième de sables issus du concassage de brique (SDBR), dans chacune des deux série nous avons varié le taux de substitution des sables naturels par des sables recyclés de la manière suivante (0% ,20%, 30%, 50% ,70%) pour les deux séries.

Le tableau 4 – 20 regroupe les résultats de la résistance à la compression à 28 jours des différents mélanges pour des dosages de ciment variables.

**Tableau 4-20 : Résistance à la compression des bétons à base des sables recyclés pour des dosages de ciments respectifs 300, 350, 400 et 450 kg/m<sup>3</sup>**

| Type de béton  | Résistance à la compression MPA |              |              |              |              |              |              |              |
|----------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | DOSAGE 300                      |              | DOSAGE 350   |              | DOSAGE 400   |              | DOSAGE 450   |              |
|                | CPJ                             | CRS          | CPJ          | CRS          | CPJ          | CRS          | CPJ          | CRS          |
|                | <b>1<sup>ère</sup> série</b>    |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>100/0/0</b> | <b>34.0</b>                     | <b>36.00</b> | <b>38.00</b> | <b>42.00</b> | <b>44.00</b> | <b>46.00</b> | <b>47.00</b> | <b>53.50</b> |
| <b>80/20/0</b> | 31.0                            | 33.00        | 35.00        | 39.00        | 41.00        | 43.00        | 45.00        | 50.50        |
| <b>70/30/0</b> | 29.0                            | 32.00        | 33.00        | 37.50        | 38.50        | 41.50        | 42.70        | 49.00        |
| <b>50/50/0</b> | 27.50                           | 29.00        | 31.00        | 34.50        | 36.50        | 38.47        | 39.50        | 45.00        |
| <b>30/70/0</b> | 24.80                           | 25.5         | 28.00        | 30.00        | 33.00        | 33.75        | 36.00        | 40.00        |
|                | <b>2<sup>ème</sup> série</b>    |              |              |              |              |              |              |              |
| <b>80/0/20</b> | 29.00                           | 30.8         | 33.20        | 36.75        | 38.95        | 40.8         | 42.50        | 48.7         |
| <b>70/0/30</b> | 27.50                           | 29.32        | 31.29        | 35.00        | 37.60        | 39.00        | 41.00        | 46.50        |
| <b>50/0/50</b> | 25.60                           | 27.00        | 30.00        | 33.00        | 35.50        | 37.00        | 39.00        | 43.00        |
| <b>30/0/70</b> | 22.50                           | 24.00        | 25.50        | 29.00        | 30.80        | 32.50        | 33.50        | 39.00        |

**1<sup>ère</sup> série: béton à base du sable de béton de démolition**

**2<sup>ème</sup> série: béton à base du sable de déchet de brique concassé.**

Nous remarquons d'après les figures 4-25 à 4-28 que :

☞ Les bétons recyclés présentent des résistances à la compression plus faible que les bétons ordinaires: une chute de 8 à 27% pour les bétons de sable de béton concassé et de 14 à 33% pour les bétons de brique concassé. Ces résultats confirment ceux trouvés par d'autres chercheurs, (TORIL, KAWAMURA. M, TAKEMOTO.K & HASBA.S), ont observé des chutes de l'ordre de 30% et de 40% respectivement pour le béton de démolition et de brique concassée.

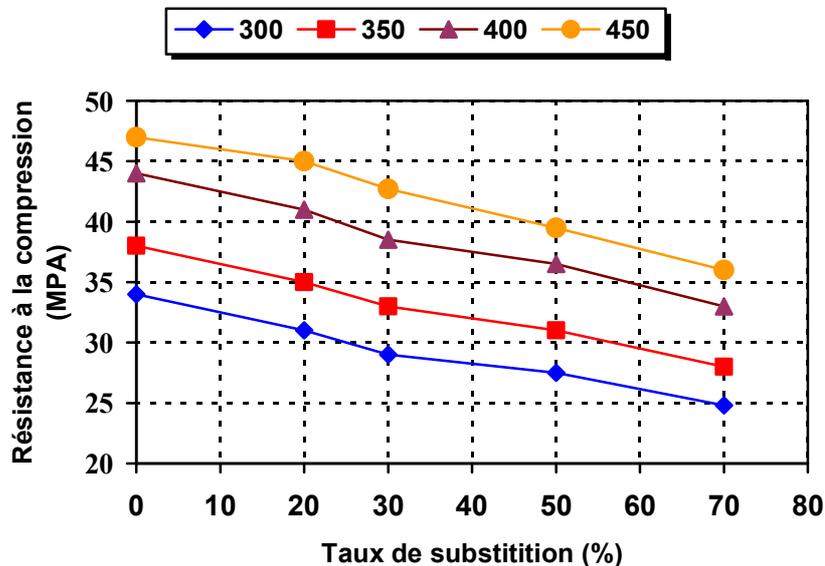
Cette réduction dans la résistance à la compression est due principalement à l'effet du mortier de l'ancien béton inerte attaché aux agrégats et qui gêne le bon déroulement de l'hydratation du ciment. Il faut noter aussi que les bétons à base d'agrégats de démolitions ont un pourcentage élevé d'E/C qui se traduit par une baisse de la résistance à la compression.

☞ La chute de résistance diminue en faisant augmenter le dosage de ciment, nous pouvons résumer la chute de résistance à 28 jours en fonction de la nature et du taux de substitution des sables recyclés ainsi que le dosage en ciment comme suit (Tableau 4-21) :

**Tableau 4-21 : Chute de résistance en fonction du taux de remplacement**

| Nature des sables | Chute de résistance en%               |         |         |         |                                    |         |         |        |
|-------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|--------|
|                   | CPJ                                   |         |         |         | CRS                                |         |         |        |
|                   | Dosage en ciment en kg/m <sup>3</sup> |         |         |         | Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup> |         |         |        |
|                   | 300                                   | 350     | 400     | 450     | 300                                | 350     | 400     | 450    |
| <b>SDB</b>        | 8.5 ÷ 27                              | 8 ÷ 26  | 7 ÷ 25  | 4 ÷ 23  | 8 ÷ 29                             | 7 ÷ 28  | 6 ÷ 26  | 5 ÷ 25 |
| <b>SDBR</b>       | 15 ÷ 34                               | 13 ÷ 33 | 12 ÷ 30 | 10 ÷ 29 | 14 ÷ 33                            | 12 ÷ 31 | 11 ÷ 29 | 9 ÷ 27 |

le tableau 4-21 montre que la résistance à la compression diminue nettement dès que le taux de remplacement dépasse 50% et que cette diminution peut dépasser 15% de la résistance du béton témoin ce qui a été montré par d'autres chercheurs (J.M.V.Gomez-Soberon).



*Figure 4-25 : Résistance à la compression des bétons à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CPJ*

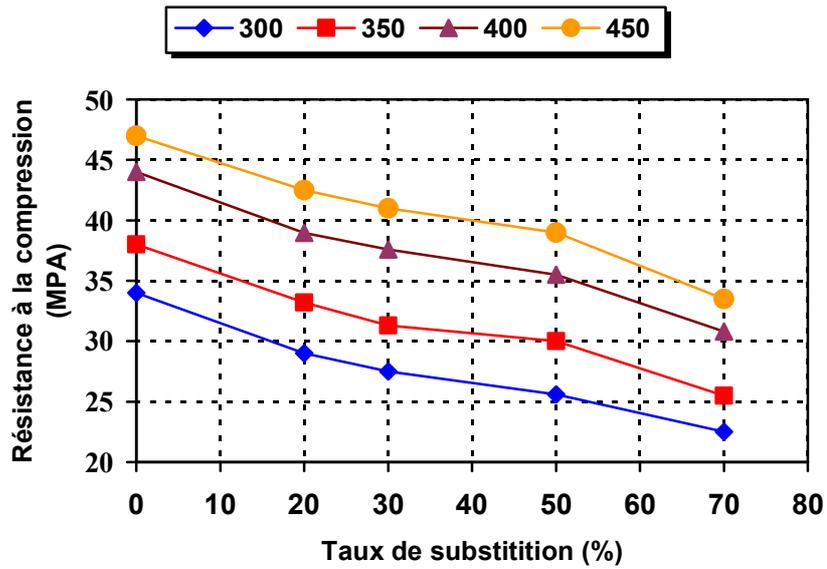


Figure4-26 : Résistance à la compression des bétons à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CPJ

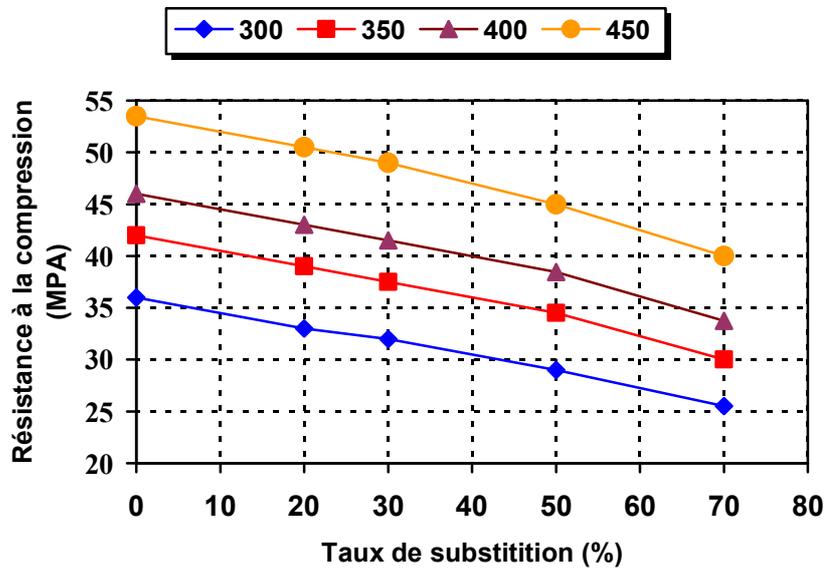


Figure4-27 : Résistance à la compression des bétons à base de sable de béton concassé pour différents dosages en ciment CRS

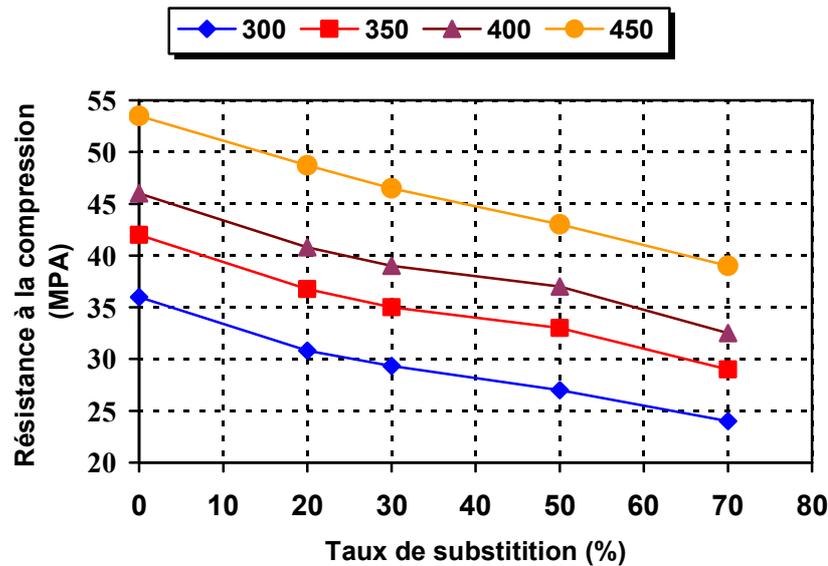


Figure 4-28 : Résistance à la compression des bétons à base de sable de brique concassé pour différents dosages en ciment CRS

#### 4-2-2-2 Influence de l'adjuvant sur les propriétés mécaniques

La raison de l'utilisation croissante de l'adjuvant est qu'il confère physiquement et économiquement au béton des avantages considérables. Ces avantages comprennent entre autre, l'utilisation de béton dans les conditions qui présente auparavant des difficultés considérables, voire insurmontables. Il permet aussi l'utilisation d'une plus grande gamme de matériaux dans le béton. Dans notre étude nous avons utilisé un superplastifiant (MADAFLAW30 Granitex) qui a été incorporé sur deux séries de béton recyclés, soit 50/50/0 et 50/0/50 avec un dosage de 350 kg/m<sup>3</sup> de ciment.

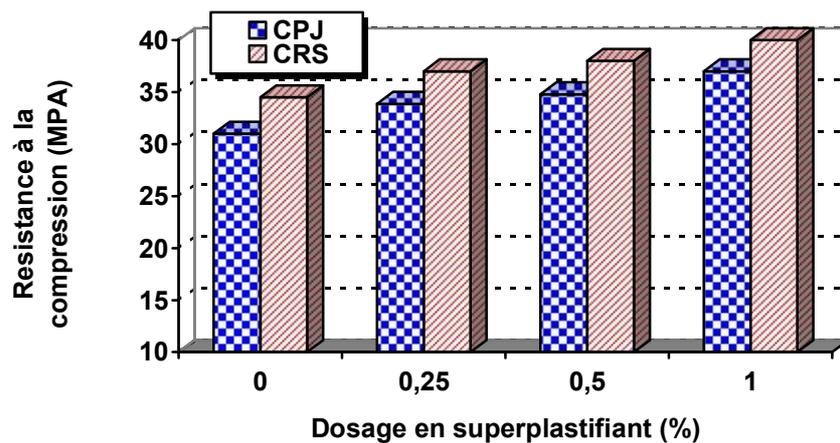
Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4-22

On remarque d'après les résultats présentés au tableau 4-22 et les figures 4-29 et 4-30 que pour un dosage de superplastifiant de 1%, une amélioration favorable sur les propriétés mécaniques des bétons recyclés à l'âge de 28 jours, des augmentations de résistance ont été observées de l'ordre de 19 % pour les bétons à base de sable concassé de béton et 23 % pour les bétons à base de sable concassé de brique relativement aux bétons recyclés sans adjuvant.

D'autre part, on constate que les bétons, fabriqués avec un taux de substitution de 50% de sable de démolition dosés à 1% de superplastifiant, présentent des résistances très améliorées relativement au béton témoin, ces résultats concordent avec ceux trouvés par **Marlet et Pimienta**, tout en gardant la même consistance choisie au début 5 ÷ 7cm.

**Tableau 4-22: Influence de l'ajout d'un superplastifiant sur la résistance des bétons à sables recyclés**

| Type de béton  | R28(MPA) Sans adjuvant |       | R28(MPA) avec adjuvant |       |       | R28(MPA) Sans adjuvant |       |       |
|----------------|------------------------|-------|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
|                | CPJ                    | CRS   | CPJ                    |       |       | CRS                    |       |       |
|                |                        |       | 0.25%                  | 0.5%  | 1%    | 0.25%                  | 0.5%  | 1%    |
| <b>100/0/0</b> | 38.00                  | 42.0  | -                      | -     | -     | -                      | -     | -     |
| <b>50/50/0</b> | 31.00                  | 34.50 | 33.88                  | 34.80 | 37.00 | 37.00                  | 38.00 | 40.00 |
| <b>50/050</b>  | 30.00                  | 33.00 | 33.26                  | 34.00 | 36.77 | 35.50                  | 37.00 | 38.50 |



*Figure 4-29 : Influence du superplastifiant sur la résistance des bétons à base de 50% de sable de béton concassé avec un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>*

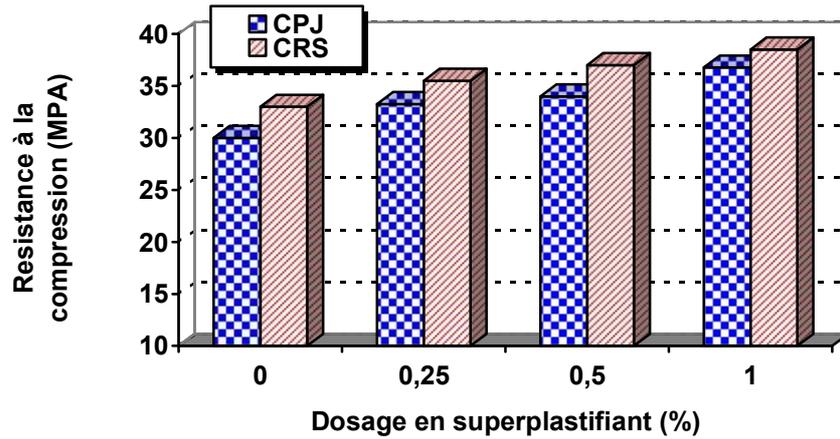


Figure 4-30 : Influence du superplastifiant sur la résistance des bétons à base de 50% de sable de brique concassé pour un dosage en ciment de  $350\text{kg/m}^3$

#### 4-2-2-3 Effet de la fumée de silice sur la résistance des bétons recyclés avec l'ajout d'un superplastifiant.

La très grande surface spécifique de la fumée de silice, qui doit être mouillée, augmente le besoin en eau en sorte que, dans les mortiers de faible rapport eau / liant, il est nécessaire d'utiliser un superplastifiant. De Cette façon, il est possible de conserver à la fois le rapport eau /ciment spécifié et la maniabilité nécessaire. Dans notre cas l'efficacité du superplastifiant est augmentée par la présence de la fumée de silice, ce qui a été observé pour les bétons à base des sables recyclés.

Pour une teneur de 8% en fumée de silice (de la masse totale du liant), on remarque (voir tableau 4-23) une amélioration très importante de la résistance à la compression pour un dosage de 1 % du superplastifiant et qui peut atteindre 24% de celle du béton sans adjuvant pour le béton de sable de béton concassé et 26% pour les bétons de sable de brique concassée.

**Tableau 4-23: Résistance à la compression des bétons recyclés avec une teneur de 8% en fumée de silice pour différents dosages en superplastifiants**

| Type de béton | R28(MPA) Sans adjuvant |       | R28(MPA) avec adjuvant |       |       |       | R28(MPA) Sans adjuvant |       |       |       |
|---------------|------------------------|-------|------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
|               | CPJ                    | CRS   | CPJ                    |       |       |       | CRS                    |       |       |       |
|               |                        |       | 0.25%                  | 0.5%  | 1%    | %     | 0.25%                  | 0.5%  | 1%    | %     |
| 100/0/0       | 38.00                  | 42.0  | -                      | -     | -     | 100   | -                      | -     | -     | 100   |
| 50/50/0       | 31.00                  | 34.50 | 36.00                  | 36.00 | 38.50 | 101.3 | 38.50                  | 40.00 | 40.00 | 99.60 |
| 50/050        | 30.00                  | 33.00 | 35.00                  | 35.00 | 37.75 | 99.34 | 37.00                  | 38.50 | 38.50 | 97.62 |

D'après les figures 4-31 et 4-32, on constate que la présence de la fumée de silice dans les bétons à base de sables recyclés influence de façon significative les propriétés mécaniques de ces derniers et d'une manière analogue que pour les mortiers conventionnels. Cette action particulière est due au fait que les grains de la fumée de silice ont un diamètre environ 100 fois plus petit que celui des plus petits grains de ciment, et que cette finesse des grains diminue le ressuage.

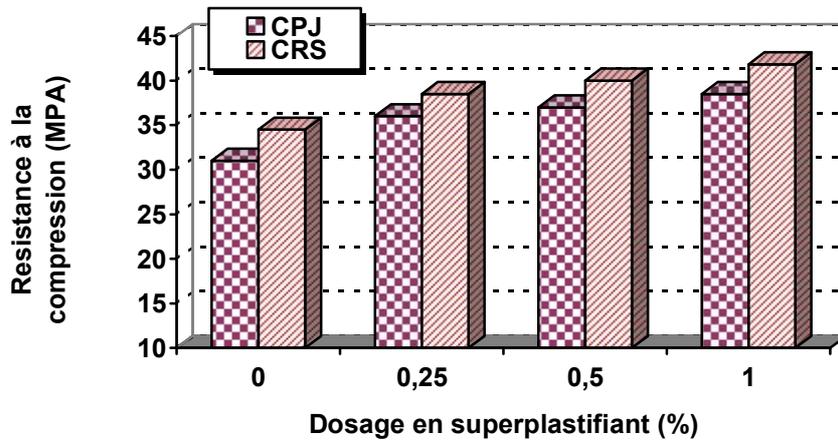


Figure4-31 : Effet de la fumée de silice (8%) sur la résistance des bétons à base de 50% de sable de béton concassé pour un dosage en ciment de 350kg/m<sup>3</sup>

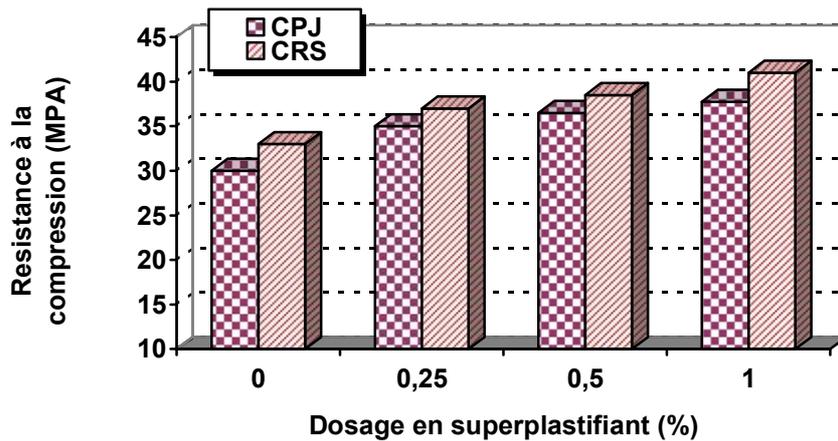


Figure4-32 : Effet de la fumée de silice (8%) sur la résistance des bétons à base de 50% de sable de brique concassé pour un dosage de ciment en 350kg/m<sup>3</sup>

#### 4-2-2-4 Absorption d'eau par immersion

Le volume poreux du béton peut se mesurer par absorption d'eau, le procédé consiste à sécher une éprouvette de béton à masse constante, en l'immergeant dans l'eau et en mesurant l'augmentation de masse exprimée en pourcentage de la masse sèche. L'absorption d'eau en

masse (%) est :

$$A = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} 100\%$$

Les éprouvettes utilisées dans cette partie sont cubiques de dimensions (10×10×10) cm<sup>3</sup> et sont conservées dans l'eau (T = 22°C). Les valeurs du coefficient d'absorption en fonction du type de béton sont illustrées par le tableau 4 -24 ; Les résultats de cet essai sont présentés dans les figures 4-33 et 4-34. En comparaison avec le béton témoin, il est nettement visible que les bétons à base des sables recyclés sont plus poreux et absorbent plus d'eau.

Le pourcentage d'absorption d'eau après 24 heures d'immersion est de l'ordre de 2 % pour le béton témoin, et accroît pour les bétons à base des sables recyclés en fonction du taux de substitution arrivant à 4.6% pour béton comportant 70% de sable de béton de démolition concassé( SDB), 5.7 % pour béton comportant 70% de sable de démolition de brique (SBR).

**Tableau 4-24 : Masse volumique et absorption d'eau des bétons à base de granulats recyclés**

| Type de béton  | CPJ350 |                   |                              | CRS350 |                   |                              |
|----------------|--------|-------------------|------------------------------|--------|-------------------|------------------------------|
|                | E/C    | Absorption d'eau% | Densité du béton durci Kg/m3 | E/C    | Absorption d'eau% | Densité du béton durci Kg/m3 |
| <b>100/0/0</b> | 0.57   | 2.1               | 2522                         | 0.57   | 2.0               | 2476                         |
| <b>80/20/0</b> | 0.58   | 2.35              | 2480                         | 0.58   | 2.25              | 2440                         |
| <b>70/30/0</b> | 0.59   | 2.40              | 2460                         | 0.59   | 2.50              | 2428                         |
| <b>50/50/0</b> | 0.60   | 3.50              | 2430                         | 0.60   | 3.30              | 2405                         |
| <b>30/70/0</b> | 0.61   | 4.60              | 2410                         | 0.61   | 4.50              | 2382                         |
| <b>80/0/20</b> | 0.59   | 3.20              | 2458                         | 0.59   | 3.00              | 2420                         |
| <b>70/0/30</b> | 0.60   | 3.68              | 2430                         | 0.60   | 3.50              | 2380                         |
| <b>50/050</b>  | 0.62   | 4.30              | 2360                         | 0.62   | 4.00              | 2320                         |
| <b>30/0/70</b> | 0.64   | 5.73              | 2310                         | 0.64   | 5.50              | 2260                         |

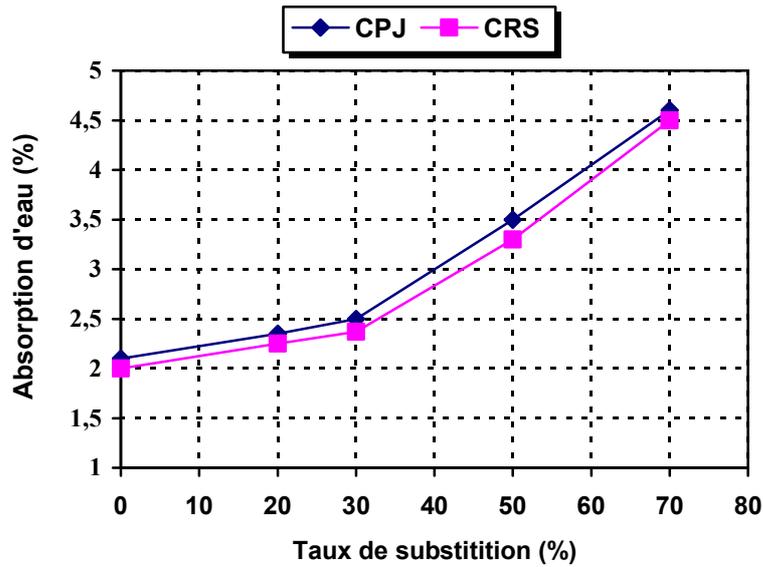


Figure4-33 : Absorption d'eau des bétons à base de sable de béton concassé pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>

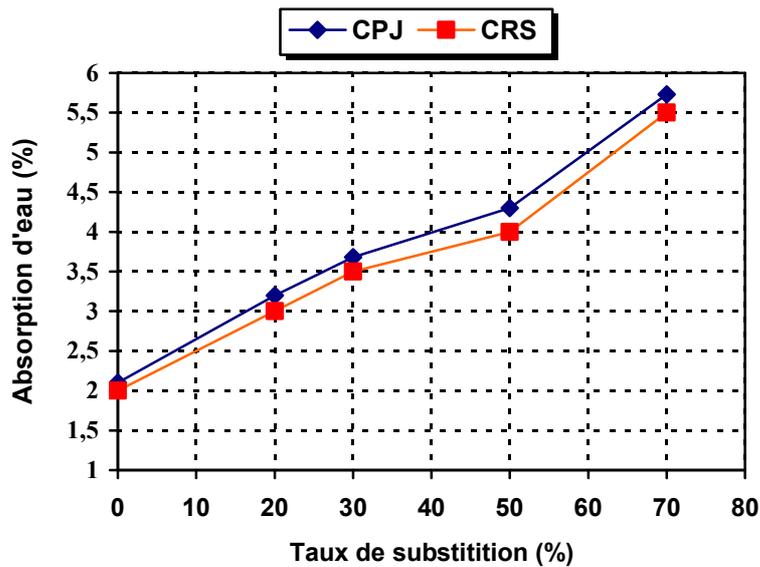


Figure4-34 : Absorption d'eau des bétons à base de sable de brique concassée pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>

#### 4-2-2-5 Masse volumique des bétons recyclés

L'introduction des matériaux recyclés dans la composition de béton provoque une légère diminution de la masse volumique du béton durci qui varie en fonction de taux de substitution (tableau 4-24), cela est dû à l'air occlus autant plus élevé que le pourcentage de substitution en granulats recyclés augmente.

IL est à noter que la masse volumique du béton témoin est de  $2476 \text{ kg/m}^3$  et que la chute de la densité est de l'ordre de 4 % pour béton comportant 70% de sable de béton de démolition concassé (SDB) «  $2382 \text{ kg/m}^3$  », 10% pour béton comportant 70% de sable de démolition de brique (SBR) «  $2260 \text{ kg/m}^3$  », les figures 4-35 et 4-36 présentent cette diminution qui est due principalement à la légèreté du masse volumique des agrégats de brique et des agrégats de béton concassé.

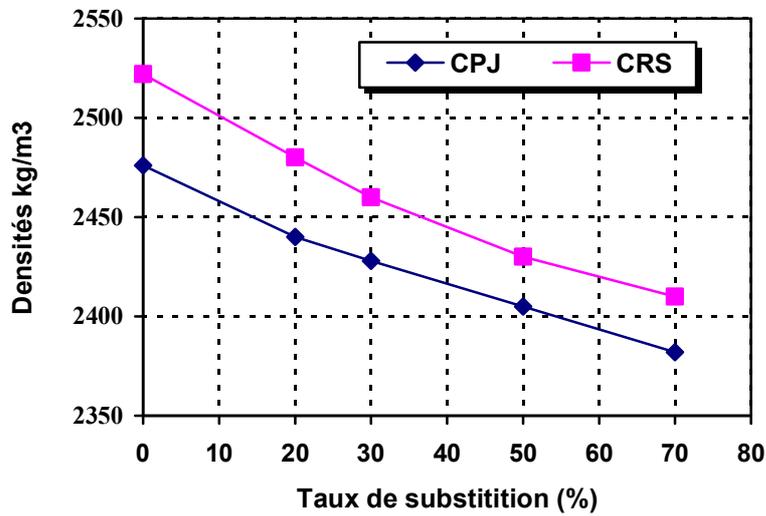


Figure4-35 : Masse volumique des bétons à base de sable de béton concassé pour un dosage en ciment de  $350 \text{ kg/m}^3$

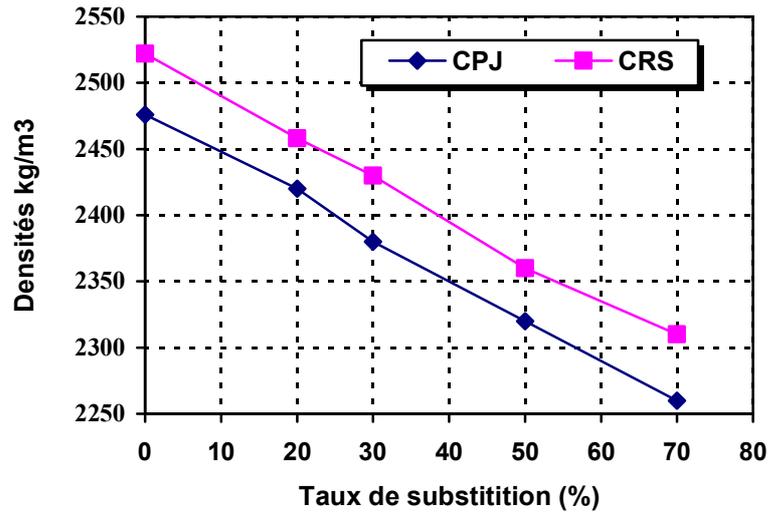


Figure4-36 : Masse volumique des bétons à base de sable de brique concassée pour un dosage en ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>

#### 4-2-2-6 Perméabilité à l'eau

Le tableau 4-25 résume les résultats des essais de la perméabilité par pénétration d'eau. Nous constatons que les bétons à base de sables recyclés présentent un coefficient de perméabilité très élevé, comparativement aux bétons conventionnels, ceci est valable pour les bétons à base de 50% de sable de brique concassée. Ces résultats semblent être comparables avec ceux trouvés par Wainwright CNAT. D & CHEVET. H.

Les résultats trouvés confirment aussi les résultats d'absorption d'eau par immersion et montrent que ce type de béton peut avoir des problèmes de durabilité avec une pénétration d'agents agressifs (Sulfates et Chlorures) plus rapide.

Tableau 4-25 : Coefficient de perméabilité des bétons recyclés

| Type de béton | Coefficient de perméabilité (m/s) |                        |
|---------------|-----------------------------------|------------------------|
|               | CPJ                               | CRS                    |
| 100/0/0       | $3,4 \times 10^{-15}$             | $3,7 \times 10^{-15}$  |
| 50/50/0       | $3.02 \times 10^{-14}$            | $3.25 \times 10^{-14}$ |
| 50/050        | $1.7 \times 10^{-13}$             | $1.95 \times 10^{-13}$ |

#### 4-2-2-7 Contrôle non destructif (scléromètre, auscultation dynamique)

Afin de tester les bétons à base de sables recyclés, nous avons mené des d'essais in situ concernant le contrôle non destructif de la qualité des bétons recyclés en comparant leurs résistances estimées par le scléromètre et l'auscultation soniques à celles déterminées par l'écrasement directe. Les essais ont été effectués sur trois éprouvettes de bétons recyclés à base de 50% de sable de démolition béton concassé et de brique concassée.

Le tableau 4-26 regroupe les résultats des deux essais qui montrent une réduction de la résistance à la compression estimée autant par le scléromètre que par l'auscultation sonique, de l'ordre de 6% par rapport aux bétons ordinaires. Nous pouvons conclure, d'un autre coté que la présence des sables recyclés provenant du béton démoli ou des briques concassée comme sable dans le mélange de béton ne fait pas changer le comportement de béton vis-à-vis des ondes soniques.

**Tableau 4-26 : Résistance à la compression par essais indirects (Scléromètre et Auscultation sonique).**

| Type de béton  | Résistance en (MPa) |              |              | Résistance en (MPa) |              |              |
|----------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|
|                | CPJ                 |              |              | CRS                 |              |              |
|                | Rc (MPa)            | Rc (Isc) MPA | R (Vson) MPA | Rc (MPa)            | Rc (Isc) MPA | R (Vson) MPA |
| <b>100/0/0</b> | 38.00               | 35.75        | 37.00        | 42.00               | 39.50        | 41.50        |
| <b>50/50/0</b> | 31.00               | 29.20        | 30.00        | 34.50               | 32.5         | 34.00        |
| <b>50/0/50</b> | 30.00               | 28.30        | 29.50        | 33.00               | 31.00        | 32.00        |

#### 4-2-2-8 Résistance à la traction

Afin de déterminer la résistance en traction du matériau, l'essai Brésilien (ASTM C 496) a été utilisé. Il consiste à appliquer une charge sur un cylindre de béton couché de manière à le diviser en deux prismes semi-circulaires (voir photo 4.1) .La figure 4-37 montre la répartition des contraintes dans la section de béton de même que l'équation servant à déterminer la résistance en traction du matériau.

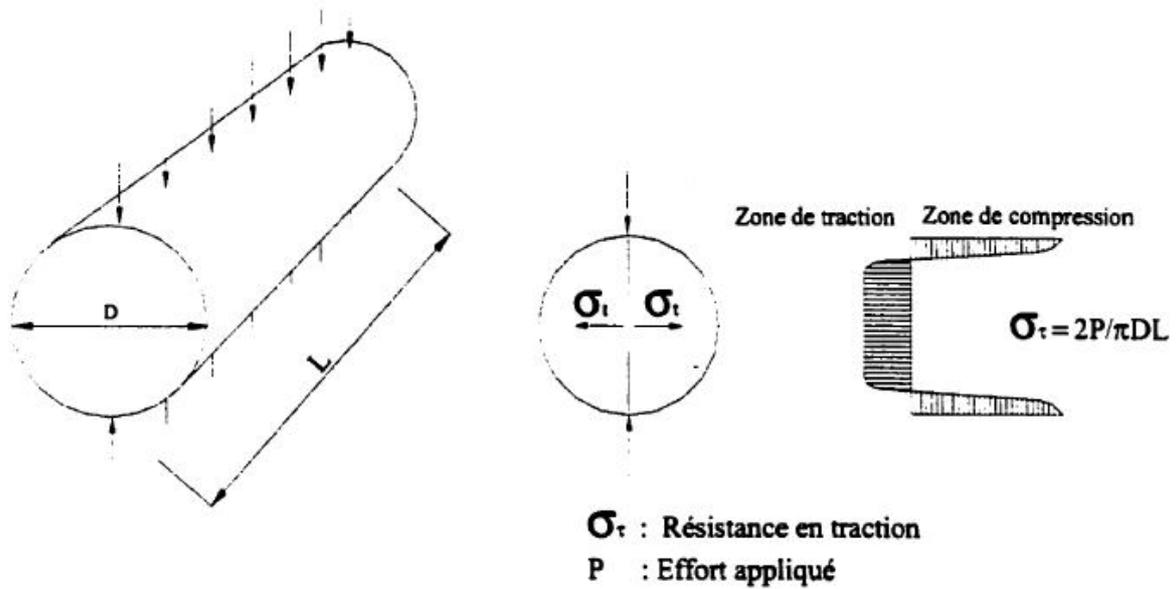


Figure 4-37 : Distribution des contraintes lors de l'essai Brésilien.

Lors de l'essai, le taux de charge que celui utilisé est le même que celui est appliqué lors de l'essai de compression. Pour ce qui est de la cure des échantillons, la même procédure que celle mentionnée pour les résistances à la compression a été utilisée.



Photo 4-1 : rupture des éprouvettes « l'essai brésilien »

Les résultats de l'essai effectués sur des bétons à base de 50% de sables recyclés dosés à  $350\text{kg/m}^3$  sont présentés dans le tableau 4-27 on remarque

- ❖ La résistance à la traction décroît avec l'augmentation du pourcentage de substitution en sable recyclé d'une manière analogue à celle observée pour la résistance à la compression.

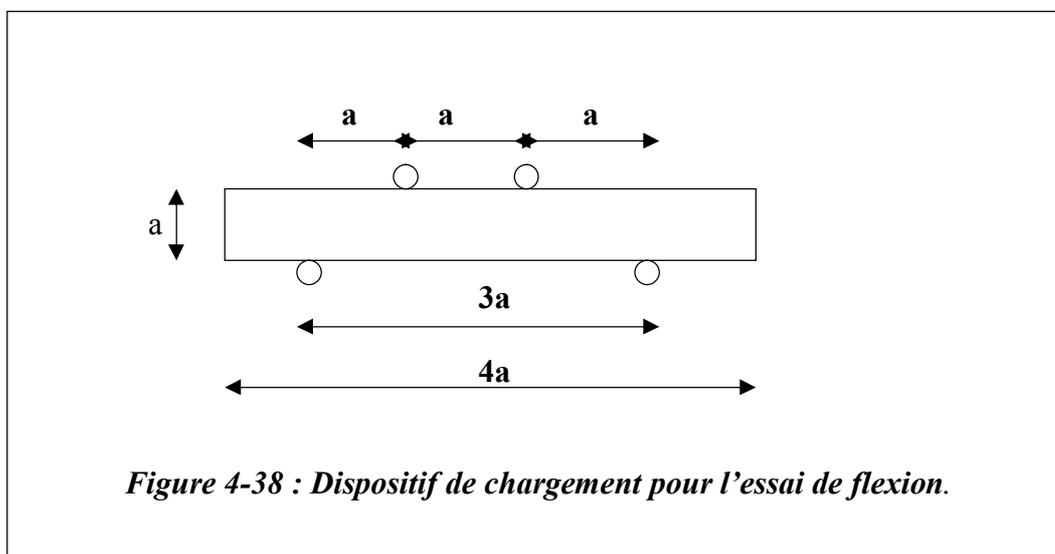
- ❖ La chute de résistance à la traction est de l'ordre de 19 % pour le béton à base de sable de démolition de béton et de 27% pour le béton à base de brique concassé.
- ❖ Les bétons contenant des sables issus du concassage de brique possèdent des résistances à la traction plus faibles que ceux contenant les sables provenant du concassage de béton de démolition.

**Tableau 4-27 : Résistance à la traction Rt28 (essai Brésilien)**

| Type de béton  | Rt (MPA) |       |      |       |
|----------------|----------|-------|------|-------|
|                | CPJ      | %     | CRS  | %     |
| <b>100/0/0</b> | 3.06     | 100   | 3.12 | 100   |
| <b>50/50/0</b> | 2.50     | 81.70 | 2.75 | 88.14 |
| <b>50/050</b>  | 2.25     | 73.53 | 2.55 | 81.73 |

#### 4-2-2-9 Résistance à la flexion des bétons recyclés

Dans cet essai un prisme de béton non armé de  $(10 \times 10 \times 40) \text{ cm}^3$ , est soumis à un effort de flexion jusqu'à la rupture d'une charge en deux points symétriques (voir photo 4-2). Les points d'application de la charge étant placés aux tiers de la portée (voir figure 4-38).



La contrainte maximale de traction atteinte sur la fibre inférieure du prisme correspondant à la résistance à la flexion est donnée par la formule suivante :  $R_f = \frac{1.8F}{a^2} (MPA)$

F : la charge de rupture.

a : cote de la section carrée de l'éprouvette.

Dans le cadre de cette étude, cet essai a été effectué sur les meilleures compositions des bétons à base d'agrégats recyclés qui font l'objet de cette étude, dosées à 350 kg /m<sup>3</sup> après 28 jours de cure dans l'eau à 22°C, les résultats sont portés sur le tableau 4-28.



*Photo 4-2 : rupture des éprouvettes « essais de flexion »*

**Tableau 4-28 : Résistance à la flexion des bétons recyclés**

| Type de béton  | Rf (MPA) |       |      |       |
|----------------|----------|-------|------|-------|
|                | CPJ      | %     | CRS  | %     |
| <b>100/0/0</b> | 2.79     | 100   | 2.97 | 100   |
| <b>50/50/0</b> | 2.61     | 93.55 | 2.70 | 90.90 |
| <b>50/050</b>  | 2.43     | 87.00 | 2.52 | 84.85 |

D'après le tableau 4-28 nous remarquons que :

Les résistances à la flexion des bétons recyclés sont inférieures à celle du béton ordinaire,  
La chute de résistances est :

- ✓ 6% pour le béton de sable démolé et de 13% pour le béton à base de sable de brique concassé pour le ciment CPJ,
- ✓ 10% pour le béton de sable démolé et de 15% pour le béton à base de sable de brique concassée pour le ciment CRS.

Cette réduction de résistance peut se justifier par la présence de l'ancien mortier collé à la surface des granulats issus du concassage du béton de démolition causant une faible adhérence, tandis que pour les bétons de brique la fragilité des granulats facilite la propagation de la rupture et rend faible la résistance à la flexion.

### 4.3 DEFORMABILITE DU BETON

Dans le but d'étudier l'influence du sable recyclé sur la déformabilité du béton; nous avons confectionné trois types de béton (100/0/0; 50/50/0; 50/0/50) avec un dosage en ciment de  $350\text{kg/m}^3$  pour deux types de ciment CPJ 42.5 et CRS 42.5.

Chaque série comprend trois échantillons prismatiques  $(10\times 10\times 40)\text{ cm}^3$ .

Les essais ont été effectués à 28 jours de durcissement, la déformation a été mesurée au moyen d'indicateurs à cadran ayant la valeur d'une division de 0.01 mm qui sont installés à l'aide de cadre appropriés sur une surface de 200 mm dans le sens longitudinal et de 100 mm dans le sens transversal, comportant des plots de mesures (distants de 20 cm). Photos 4.3



**Photos 4.3:** Essai de déformabilité sur éprouvette prismatique  $(10\times 10\times 40)\text{ cm}^3$

### 4.3.1 Module d'élasticité du béton

Le module d'élasticité se détermine pour chaque éprouvette au niveau de la charge égale à 30% de la charge de destruction.

### 4.3.2 Relation contrainte-déformation et module d'élasticité

Les figures 4-39 à 4-43 et 4.45 à 4.49 , correspondent aux résultats des essais appliqués sur trois prismes identiques ( $10 \times 10 \times 40$ )  $\text{cm}^3$  pour chaque série (100/0/0, 50/50/0 , 50/0/50 ) représentent l'évolution de la relation entre les déformations élasto-instantanées longitudinales et transversales à l'instant (t) et relatives totales à ( t+ $\Delta t$ ) avec l'augmentation de la contrainte relative ( $\eta$ ) ainsi que le module de déformabilité du béton à la béton à la compression. Cette étude nous a permis de mettre en valeur l'influence des agrégats de démolition sur la déformation du béton à la compression, et de préciser quelque remarque:

- La relation entre la valeur relative de la contrainte et les déformations élasto-instantanées du béton revêt un caractère rectiligne dans l'intervalle ( $\eta=0.1-0.5$ ) et un comportement élastique linéaire.
- La relation entre ( $\eta$ ) et les déformations est curviligne dans l'intervalle ( $\eta=0.5-0.9$ ), ce qui signale le développement dans les bétons des déformations irréversibles.
- Ces figures montrent bien que le béton fabriqué à base de sable de démolition de béton concassé présente des basses déformations par rapport à celles du béton confectionné à base de brique concassée dans le sens longitudinale. tandis que dans le sens transversal le béton fabriqué à 50% de brique concassée présente des basses déformations ainsi qu'un module de déformabilité élevé relativement à celle du béton témoin (100/0/0) et par conséquent une meilleure déformabilité.
- En ce qui concerne le module d'élasticité, nous notons que le béton à 50% de sable concassé de béton de démolition présente un meilleur module d'élasticité voir fig. 4.44 et 4.50 cela s'explique par la forte adhérence entre la pate de ciment et les agrégats.

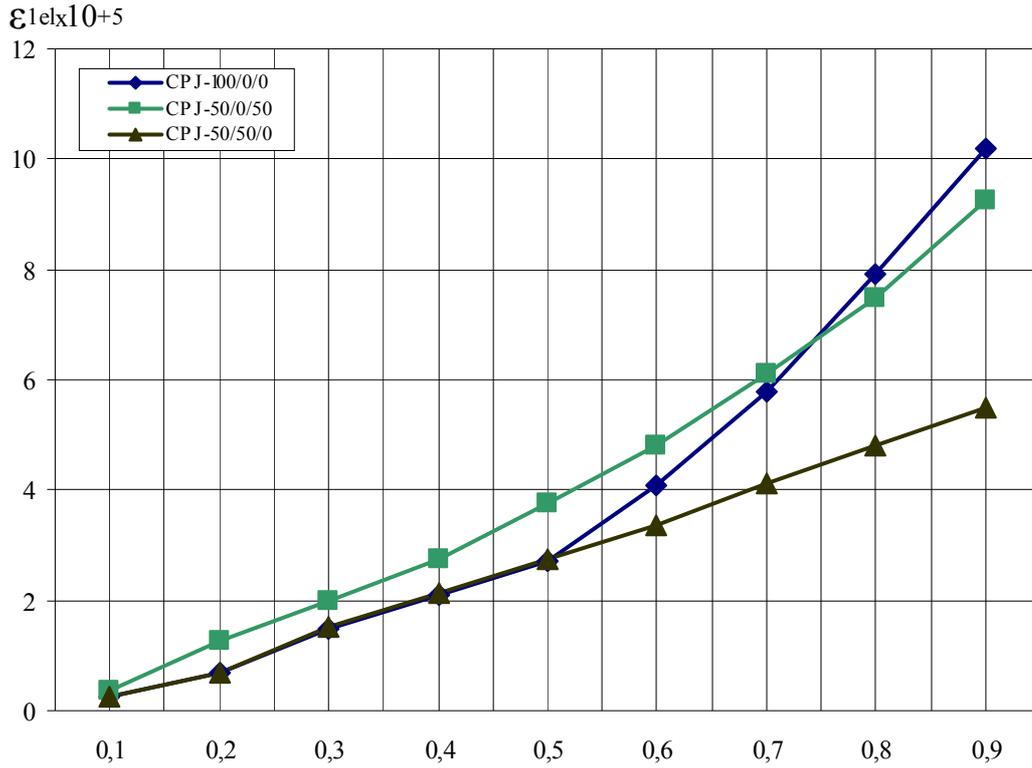


Figure 39: Déformation élasto-instantanées longitudinales du béton  $\epsilon_{1el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0

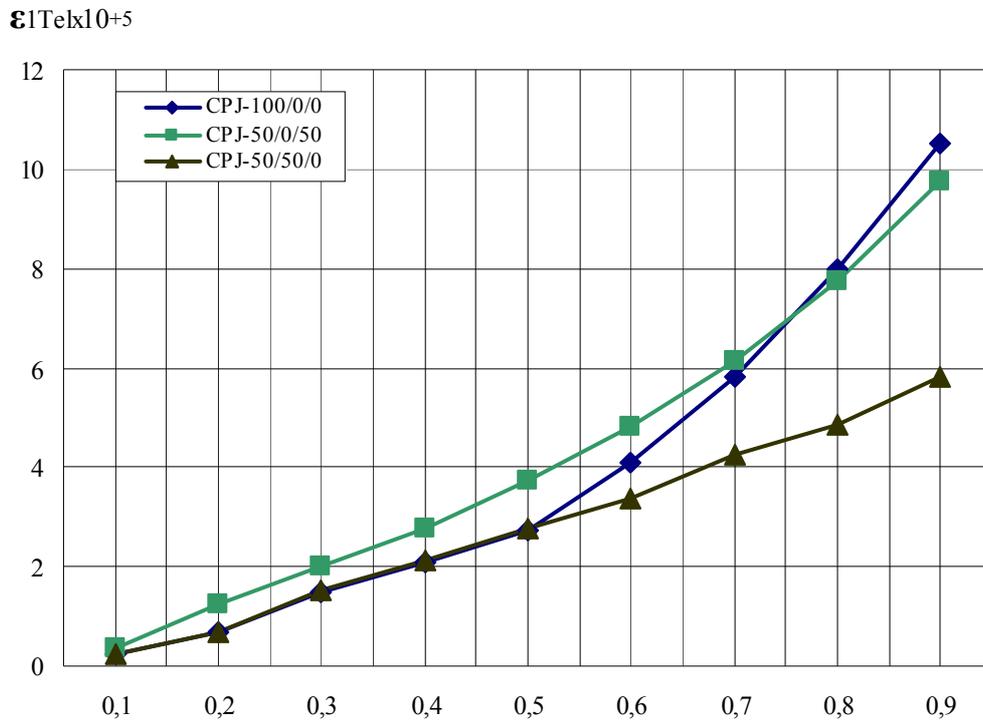


Figure 40: Déformation élasto-instantanées totales longitudinales du béton  $\epsilon_{1Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0 15L

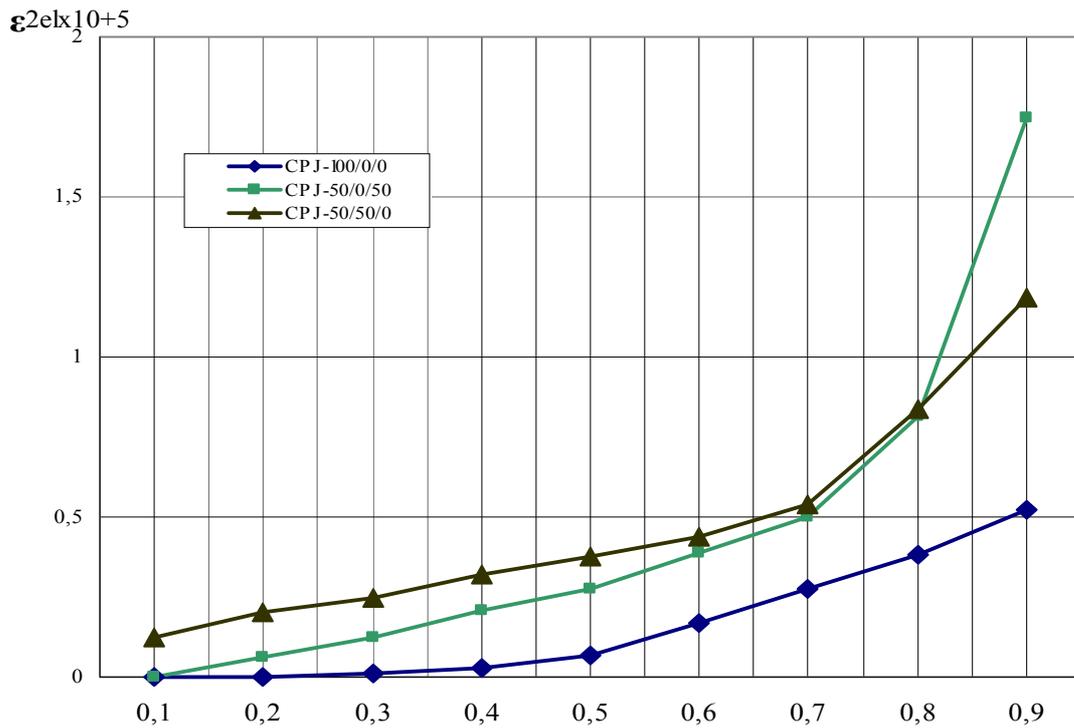


Figure 41: Déformation élasto-instantanées transversales du béton  $\epsilon_{2el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0

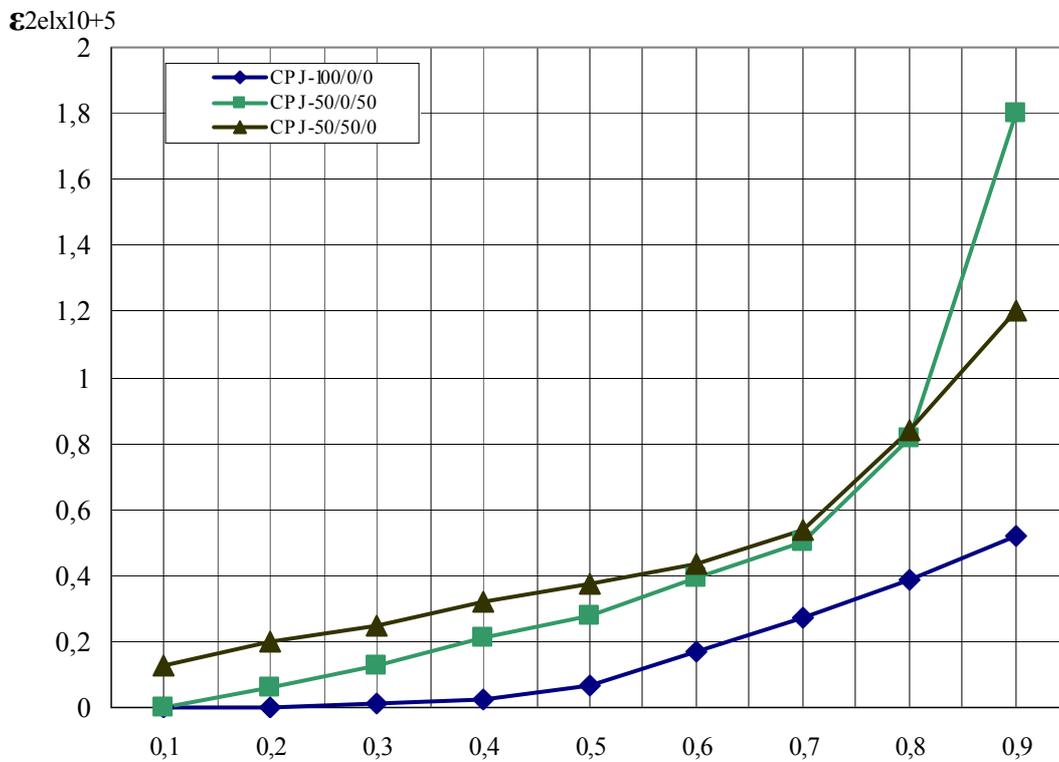


Figure 42: Déformation élasto-instantanées totales transversales du béton  $\epsilon_{2Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0

Ex10-4

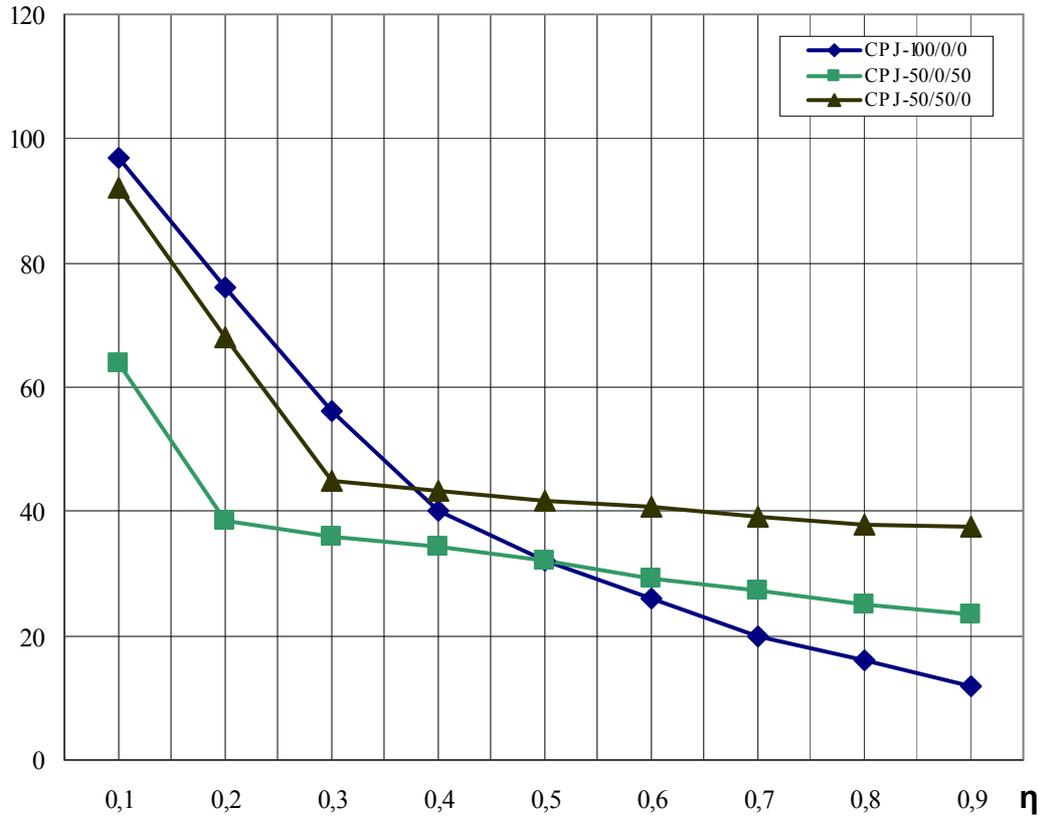


Figure 43: Module de déformabilité  $E$  du béton en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0

Eel x 10<sup>-4</sup>

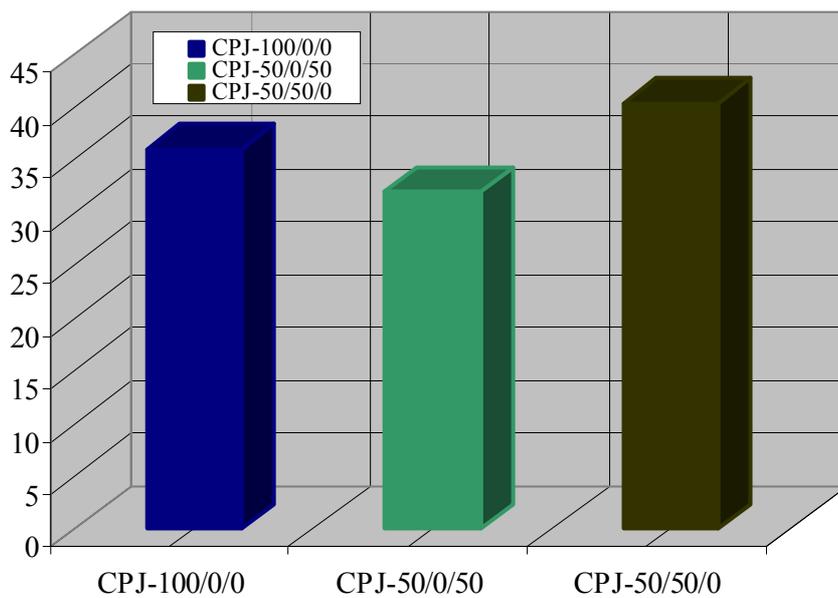


Figure 44 : Module délasticité des bétons CPJ-100/0/0, CPJ-50/0/50 et CPJ-50/50/0

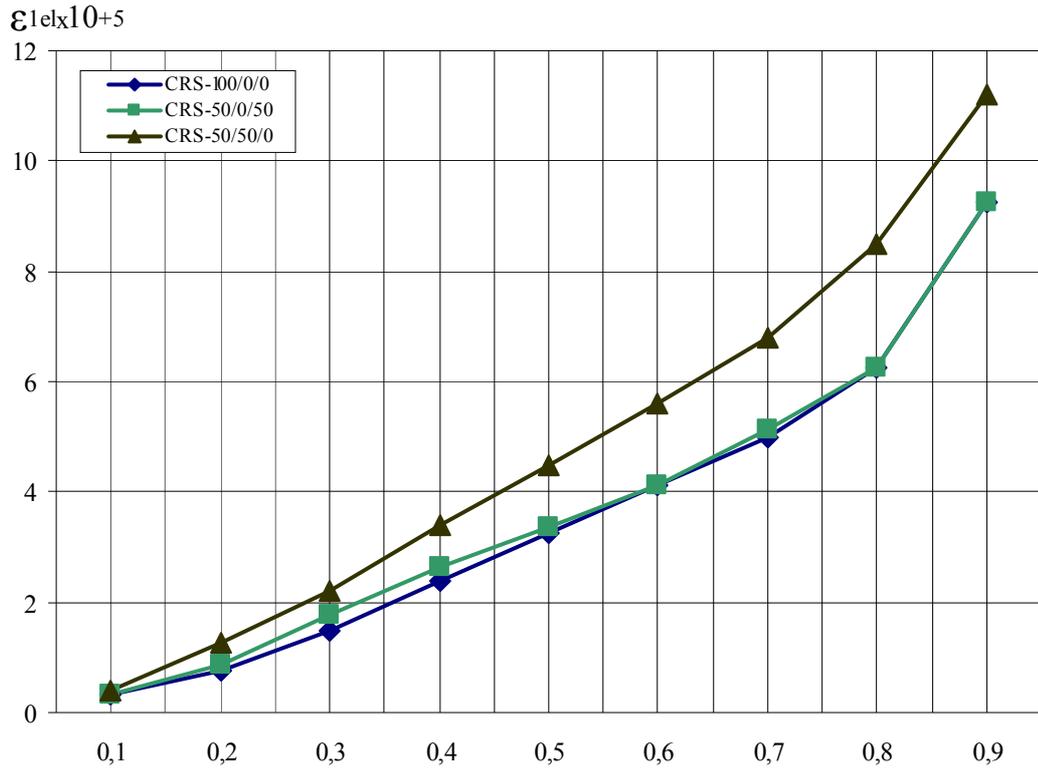


Figure 45: Déformation élasto-instantanées longitudinales du béton  $\epsilon_{1el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0

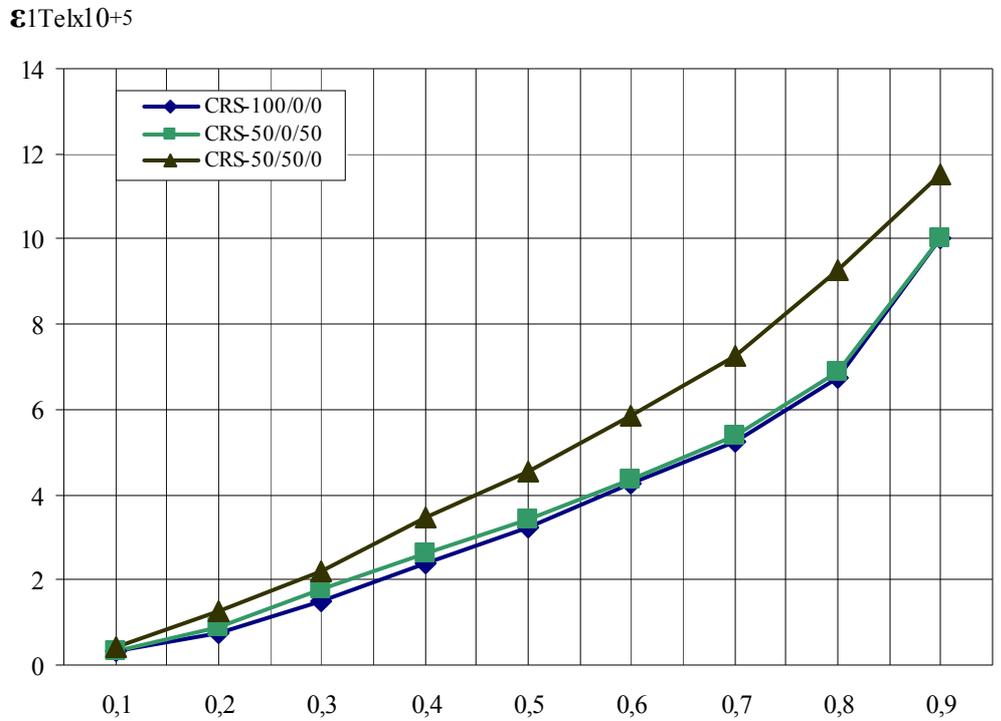


Figure 46: Déformation élasto-instantanées totales longitudinales du béton  $\epsilon_{1Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0

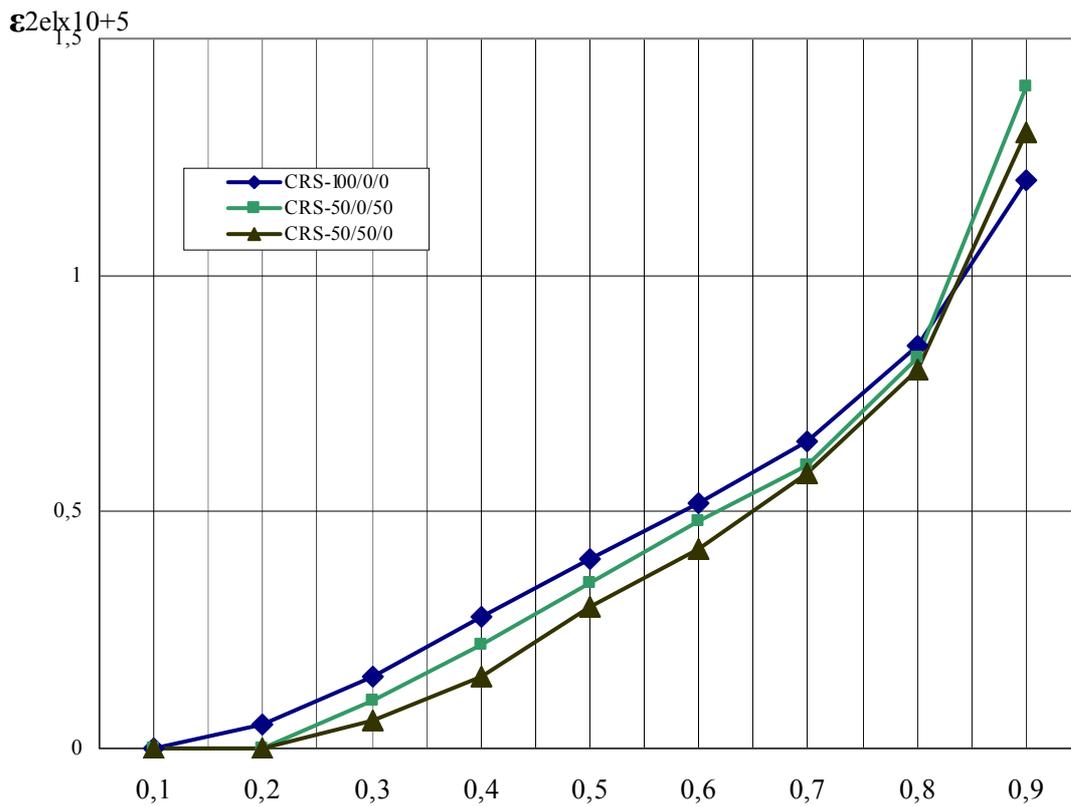


Figure 47: Déformation élasto-instantanées transversales du béton  $\epsilon_{2el}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0

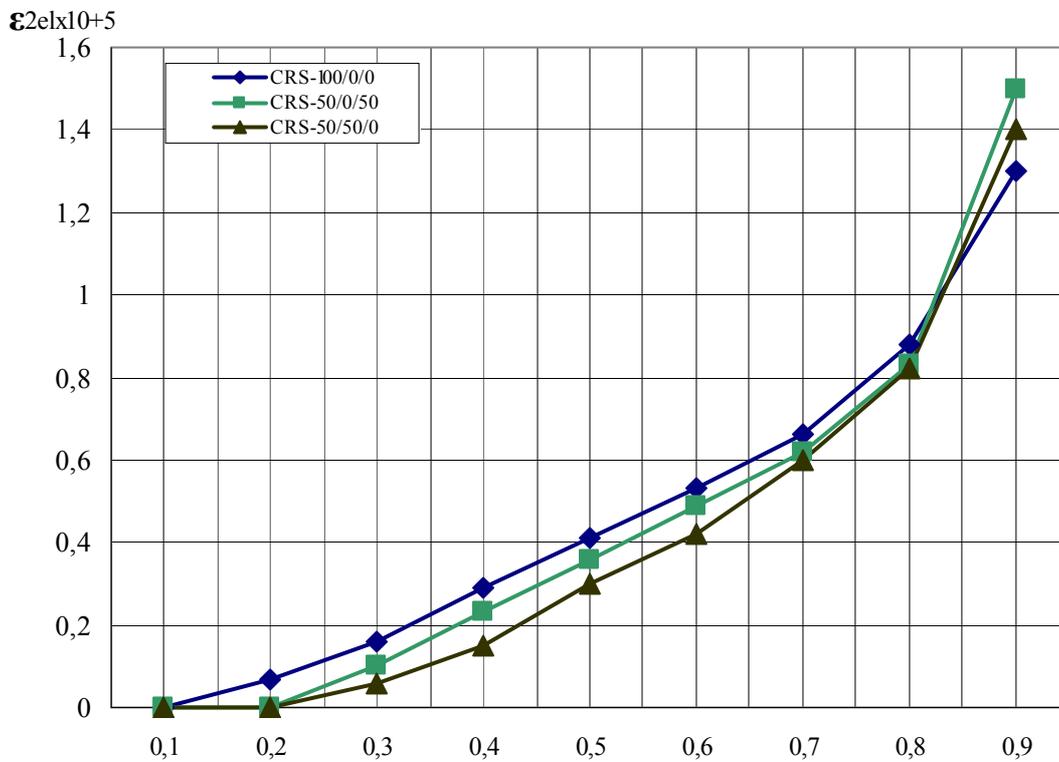


Figure 48: Déformation élasto-instantanées totales transversales du béton  $\epsilon_{2Tel}$  en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0

Ex10-4

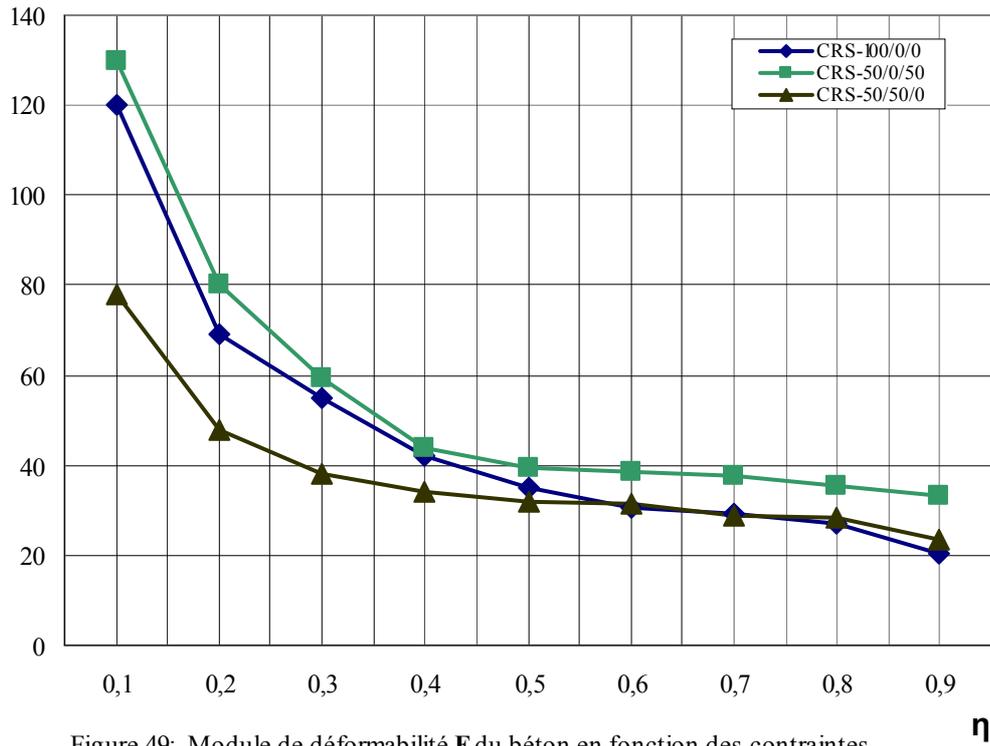


Figure 49: Module de déformabilité E du béton en fonction des contraintes relatives  $\eta$  pour les séries de prismes CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0

Eel x 10<sup>-4</sup>

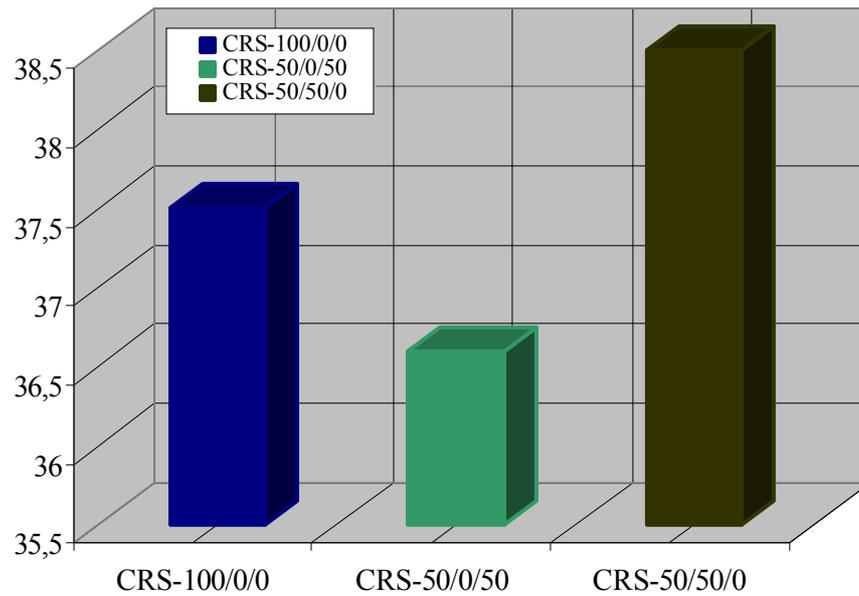


Figure 50 : Module d'élasticité des bétons CRS-100/0/0, CRS-50/0/50 et CRS-50/50/0