

### IV-1 Introduction :

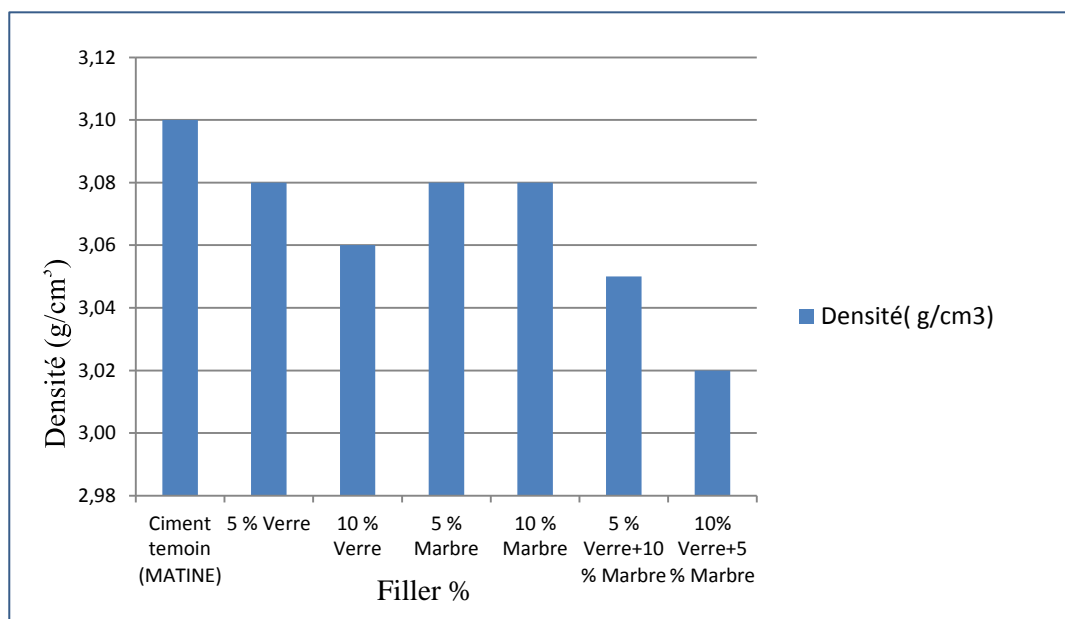
Dans ce chapitre; on présente les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur les différents composants du ciment anhydre, les mortiers, suivi par des discussions et interprétations basés sur la littérature.

### IV-2 Les résultats d'essai physiques:

#### IV-2-1 Influence de poudre de verre et marbre sur densité préparés:

**Tableau IV-1:** densité des ciments préparés.

Ciment préparés	Ciment témoin	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	3,08	3,06	3,08	3,08	3,05	3,02



**Figure IV-1 :** Variation de densité de ciment en fonction de poudre de verre et marbre

### Interprétation :

Les résultats du Tableau (IV-1) et la Figure (IV-1) présentent l'effet de l'addition d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur la densité du ciment préparés.

A la lumière des essais réalisés, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

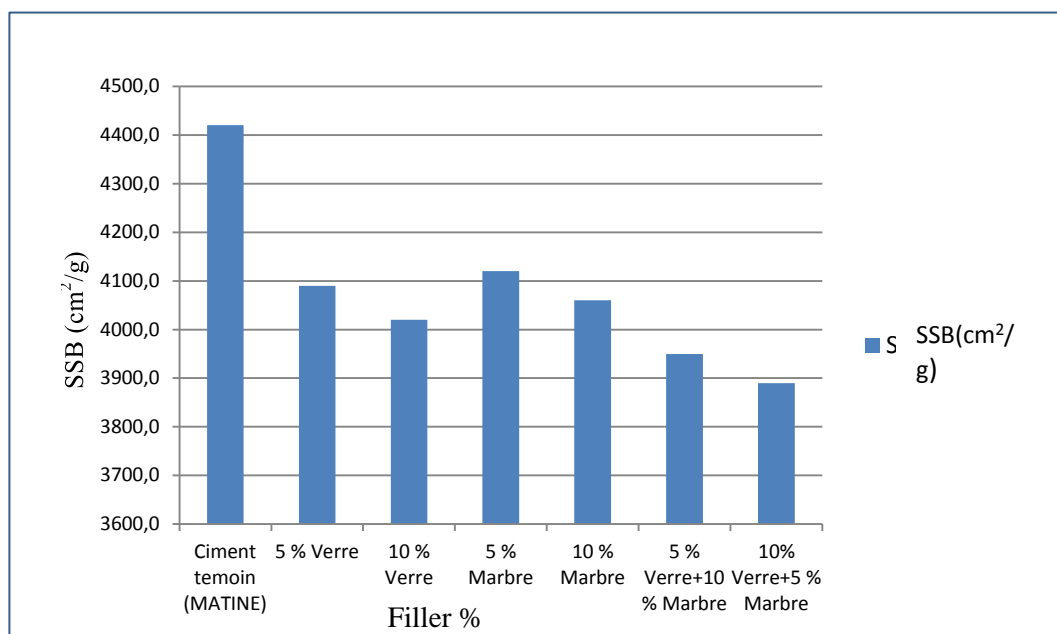
- Une réduction la densité avec l'augmentation du pourcentage d'ajout poudre de verre et sauf pour le cas de poudre de marbre.
- On remarque que la même densité pour 5% d'ajout poudre de verre et 5% d'ajout de poudre de marbre.

- La densité du ciment témoin est la plus grande valeur avec 3.10 g/cm.

#### IV-2-2 Influence de poudre de verre et marbre sur la surface spécifique du ciment préparés:

**Tableau IV-2** : surface spécifique des ciments préparés

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
SSB (cm <sup>2</sup> /g)	4420,0	4090,0	4020,0	4120,0	4060,0	3950	3890



**Figure IV-2** : Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de poudre de verre et marbre

#### Interprétation :

Les résultats du Tableau (IV-2) et la Figure (IV-2) présentent l'effet de l'addition d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur la surface spécifique du ciment préparés.

Les Conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Toutes les formulations présentent une diminution de la surface spécifique avec l'augmentation de pourcentage d'ajout par rapport ciment témoin.

- Les formulations de 5%et10%de poudre de marbre ont une surface spécifique plus importante par rapport à la formulation de 5%et 10% de verre respectivement et plus grande aussi par rapport à la formulation avec poudre de marbre.
- Toutes les formulations avec l'ajout ont une surface spécifique inférieur à celle du ciment témoin.

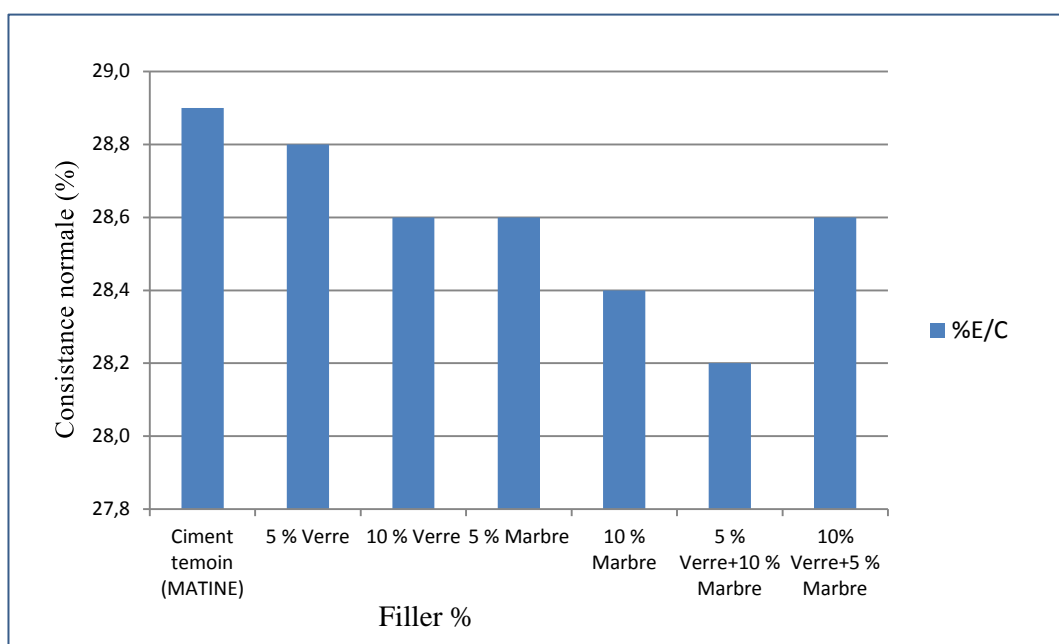
Donc on peut dire que l'ajout de la poudre de verre ou celui le marbre diminue la surface spécifique du ciment.

#### IV-2-3 Influence de poudre de verre et marbre sur la pâte de ciment préparés:

##### IV-2-3-1 Influence de poudre de verre et marbre sur la consistance normale:

**Tableau IV-3 :** Consistance normale des ciments préparés .

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
%E/C	28,9	28,8	28,6	28,6	28,4	28,2	28,6



**Figure IV-3 :** Variation de la consistance normale en fonction de poudre de verre et marbre

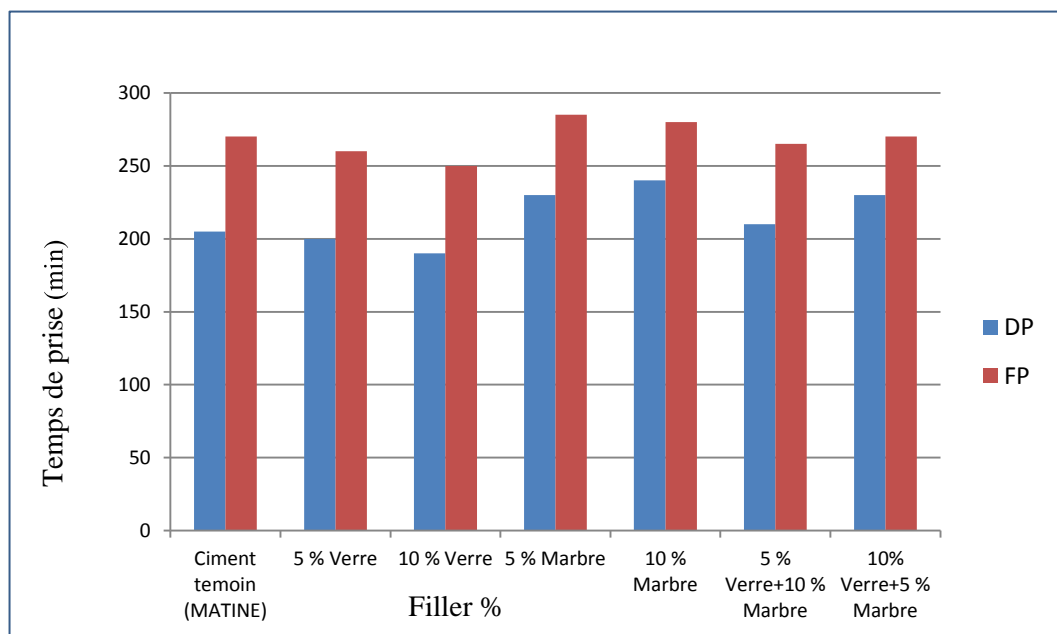
**Interprétation :**

Les résultats expérimentaux obtenus Tableau (IV-3) et la Figure (IV-3) présentent l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur la consistance normale de ciment préparés.

- On note la consistance de ciment témoin est la valeur plus grande.
- L'ajout de la poudre de verre et celui de poudre de marbre diminue la consistance.
- La nature de l'ajout n'a pas une grande influence sur la consistance.

**IV-2-3-2 Influence de poudre de verre et marbre sur le temps de prise:****Tableau IV-4:** Temps de prise des ciments préparés.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
DP (min)	205	200	190	230	240	210	230
FP (min)	270	260	250	285	280	265	270

**Figure IV-4 :** Variation des temps de prises en fonction de poudre de verre et marbre

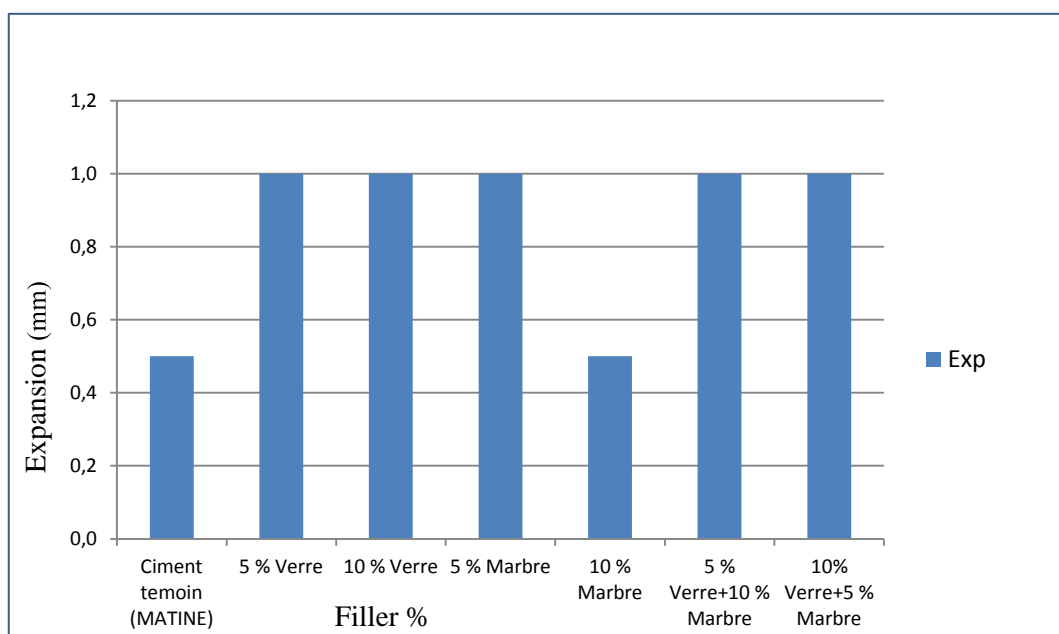
**Interprétation :**

Les résultats expérimentaux obtenus Tableau (IV-4) et la Figure (IV-4) présentent l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur le temps de prise de la pâte de ciment préparés.

- On remarque l'augmentation de pourcentage de la poudre de verre fait diminuer le temps de début de prise et celui de la fin de prise.
- L'augmentation de pourcentage de la poudre de marbre fait augmenter le temps du début de prise et diminuer celui de la fin de prise.
- Dans les formulations mixtes les deux temps de début et fin augmentent.
- Le ciment témoin présente de valeur moyenne par rapport aux autres formulations avec les ajouts poudre de verre et poudre de marbre.

**IV-2-3-3 Influence de poudre de verre et marbre sur l'expansion de chatelier:****Tableau IV-5 :** Expansion de Chatelier des ciments préparés.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Exp(mm)	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1	1

**Figure IV-5 :** Effet de poudre de verre et marbre sur l'expansion du ciment.

### Interprétation :

Les résultats expérimentaux obtenus Tableau (IV-5) et la Figure (IV-5) présentent l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur L'expansion du ciment préparés.

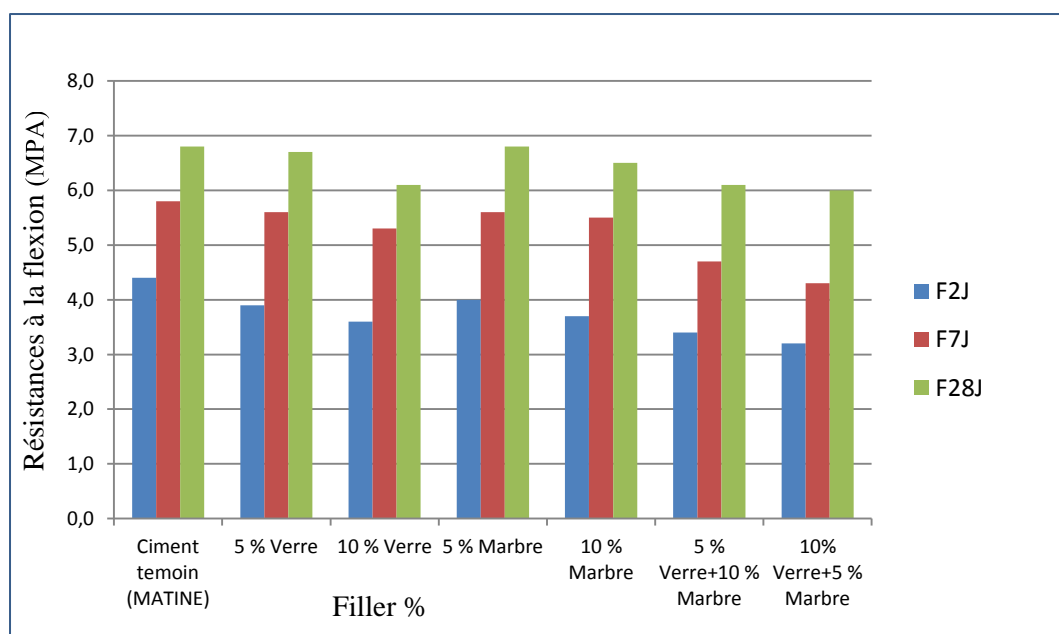
- On remarque la formulation avec 10% de la poudre de marbre présente la même valeur d'expansion sur le ciment témoin.
- Le reste des résultats présentent la même valeur d'expansion le 1(mm).

### IV-2-4 Influence de poudre de verre et marbre sur le mortier :

#### IV-2-4-1 Résistances à la flexion

**Tableau IV-6 :** Evolution des résistances à la flexion du mortier en fonction de poudre de verre et marbre.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Résistance à la flexion 2j (MPa)	4,4	3,9	3,6	4,0	3,7	3,4	3,2
Résistance à la flexion 7j (MPa)	5,8	5,6	5,3	5,6	5,5	4,7	4,3
Résistance à la flexion 28j (MPa)	6,8	6,7	6,1	6,8	6,5	6,1	6



**Figure IV-6 :** Effet de poudre de verre et marbre sur la résistance à la flexion.

**Interprétation :**

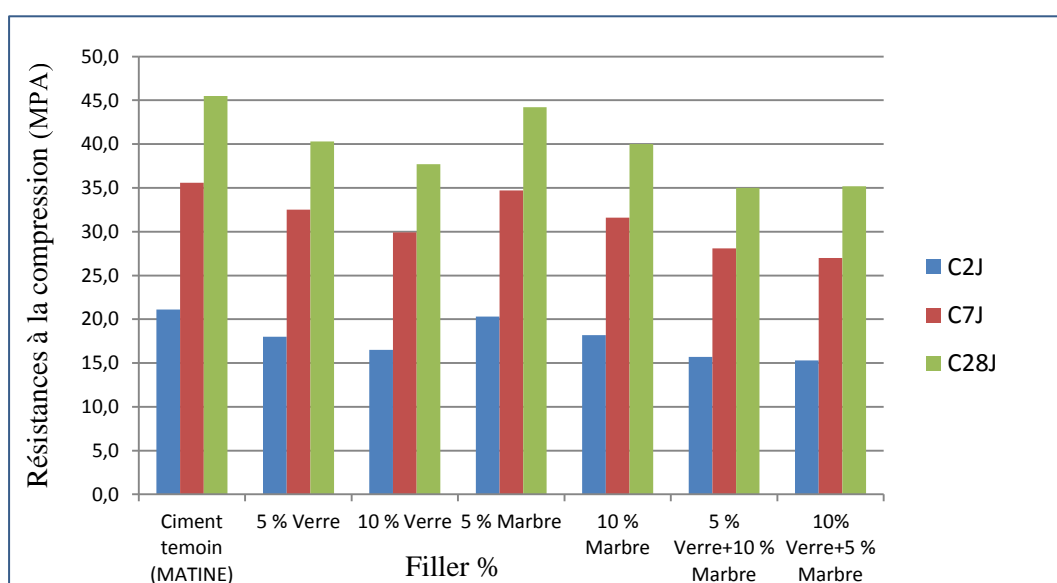
On remarque que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge.

- La résistance à la flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout poudre de verre et poudre de marbre au jeune âge.
- La résistance à la flexion du mortier avec l'ajout de la poudre de marbre est supérieure à celle de la poudre de verre.
- La résistance à la flexion de la formulation (C+10% V +5%M) rejoint celle du mortier témoin.

**IV-2-4-2 Résistances à la compression**

**Tableau IV-7:** Evolution des résistances à la compression du mortier en fonction de poudre de verre et marbre.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Résistance à la compression 2j (MPa)	21,1	18,0	16,5	20,3	18,2	15,7	15,3
Résistance à la compression 7j (MPa)	35,6	32,5	29,9	34,7	31,6	28,1	27
Résistance à la compression 28j (MPa)	45,5	40,3	37,7	44,2	40,0	35	35,2



**Figure IV-7 :** Effet de poudre de verre et marbre sur la résistance à la compression.

**Interprétation :**

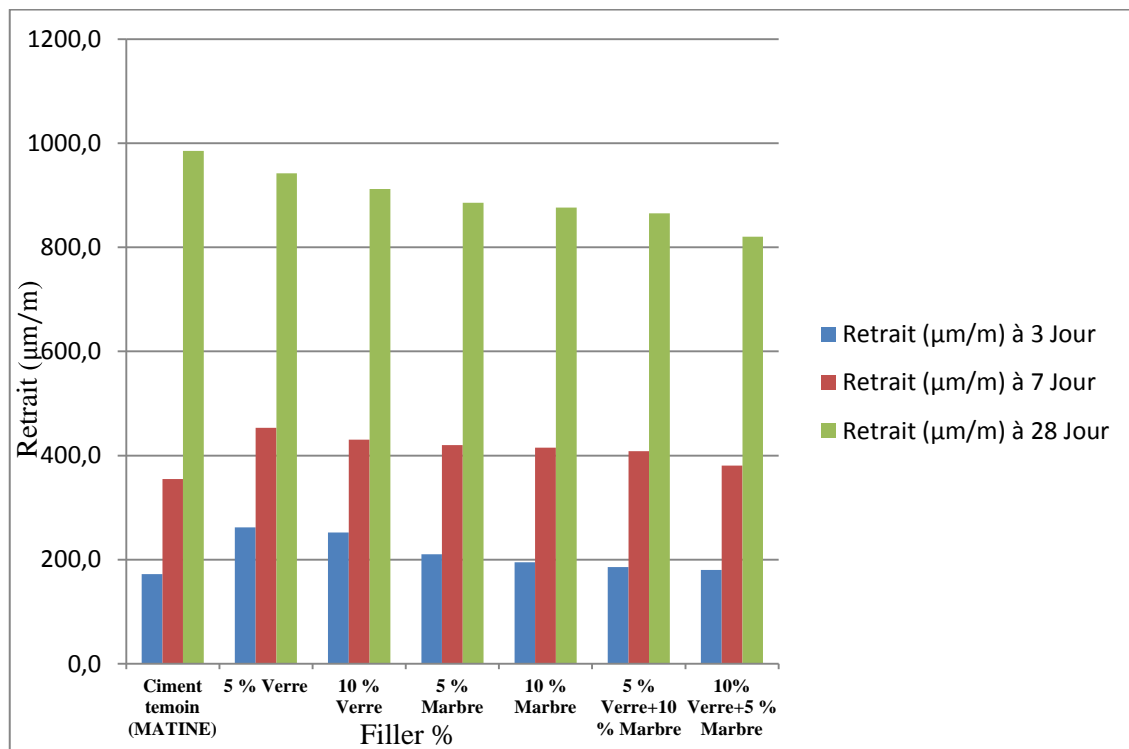
On remarque que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge.

- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout poudre de verre et poudre de marbre au jeune âge.
- La résistance à la compression du mortier avec l'ajout de la poudre de marbre est supérieure à celle de la poudre de verre.
- La résistance à la compression de la formulation (C+10% V +5% M) rejoint celle du mortier témoin.

**IV-2-4-3 Effet de poudre de verre et marbre sur le retrait et le gonflement****IV-2-4-3-1 Retrait :****Tableau IV-8:** Retrait du mortier normal en fonction de poudre de verre et marbre

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Retrait ( $\mu\text{m/m}$ ) à 3 Jours	172	262,2	252,1	210,1	195	185,7	180
Retrait ( $\mu\text{m/m}$ ) à 7 Jours	355	453,1	430,6	420,2	415,3	408,1	380,6
Retrait ( $\mu\text{m/m}$ ) à 28 Jours	956,2	942,2	912,2	885,5	876,2	865,2	820,2





**Figure IV-8 :** Evolution du retrait du mortier en fonction de poudre de verre et marbre.

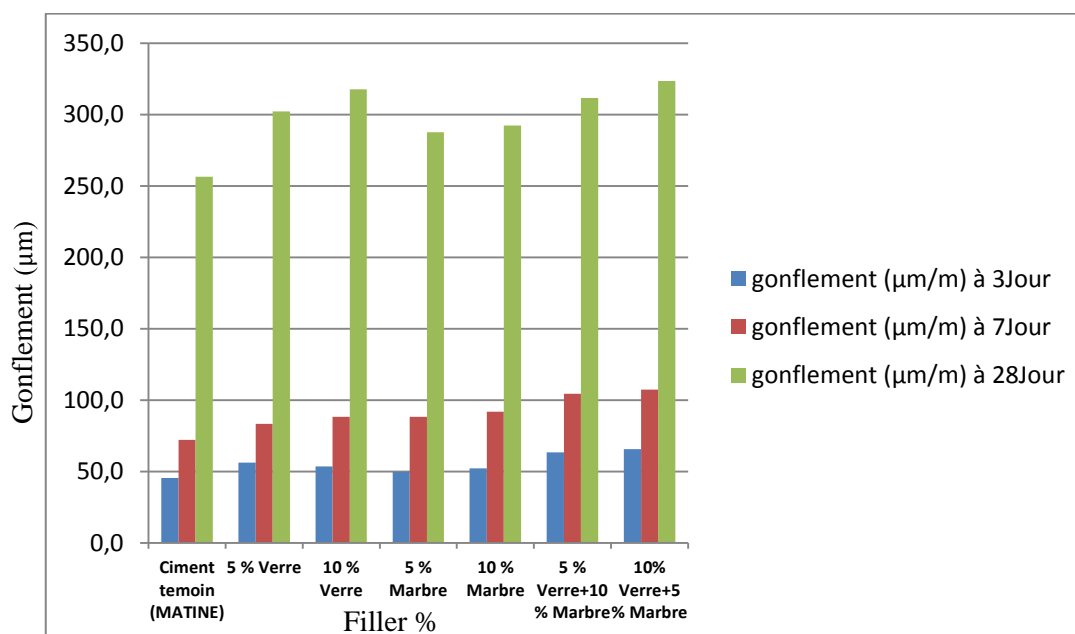
### Interprétation :

La variation du retrait du mortier normal en fonction de l'ajout poudre de verre et marbre d'après les résultats obtenus, on peut dire le ciment témoin présente la valeur la plus grande de retrait à 28 jours.

- L'augmentation des ajouts poudre de verre et de marbre diminue le retrait à 3 et 7 jours.
- La valeur la plus faible est celle de la formulation (10% de verre et 5% de marbre) avec une baisse de 15% par rapport au mortier témoin à 28 jours.
- La poudre de marbre plus faible le retrait par rapport la poudre de verre.
- A long terme diminue le retrait avec l'augmentation de l'ajout.

**IV-2-4-3-2 Gonflement :****Tableau IV-9 :** Gonflement du mortier normal en fonction de poudre de verre et marbre.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
gonflement ( $\mu\text{m/m}$ ) à 3Jours	45,5	56,2	53,4	49,7	52,2	63,3	65,5
gonflement ( $\mu\text{m/m}$ ) à 7Jours	72,2	83,4	88,3	82,2	91,9	104,3	107,2
gonflement ( $\mu\text{m/m}$ ) à 28Jours	256,3	302,2	317,5	287,5	292,2	311,5	323,5

**Figure IV-9:** Evolution du gonflement du mortier en fonction de poudre de verre et marbre.**Interprétation :**

La variation du gonflement du mortier normal en fonction de l'ajout poudre de verre et poudre de marbre sont représentées dans les tableaux (IV-9) et le Figure (IV-9).

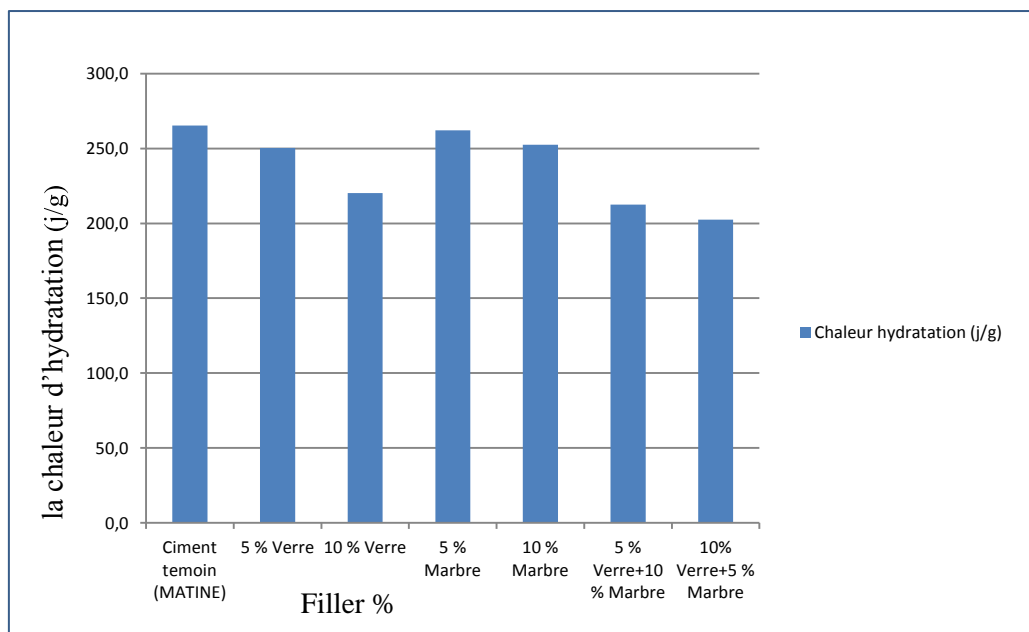
D'après les résultats obtenus, on peut dire la valeur la plus faible du gonflement est celle du ciment témoin.

- L'augmente du pourcentage de l'ajout poudre de verre et poudre de marbre fait augment le gonflement soit à 3, 7 ,28 jours.
- La poudre de verre produit un gonflement plus important que celui de marbre.

#### IV-2-4-4 Effet de poudre de verre et marbre sur la chaleur d'hydratation :

**Tableau IV-10** : la chaleur d'hydratation de mortier normale en fonction de poudre de verre et marbre.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
Chaleur hydratation (j/g)	265,2	250,3	220,3	262,1	252,5	212,5	202,5



**Figure IV-10** : Effet de poudre de verre et marbre sur la chaleur d'hydratation.

#### Interprétation :

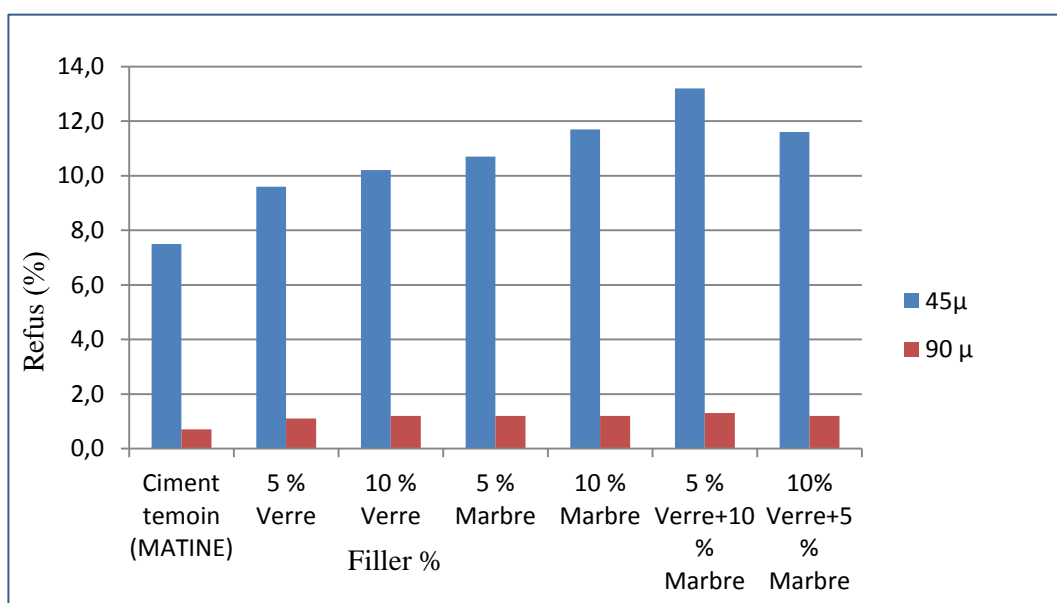
Les résultats expérimentaux obtenus tableaux (IV-10) et le Figure (IV-10) présentent l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur la chaleur d'hydratation des échantillons de mortier normalise.

- On note que de augmentation du pourcentage de l'ajout diminue le dégagement de la chaleur.
- On remarque que la formulation avec la poudre de marbre présente une chaleur d'hydratation supérieure à celle de la poudre de verre par rapport au ciment témoin.
- Les formulations mixtes présentent des valeurs inférieures par rapport les autres formulations.

#### IV-2-4-5 Effet de poudre de verre et marbre sur le refus :

**Tableau IV-11 :** Refus de ciment préparé.

Ciment préparés	Ciment témoin (MATINE)	C+5 % Verre	C+10 % Verre	C+5 % Marbre	C+10 % Marbre	C+5 % Verre+10 % Marbre	C+10% Verre+5 % Marbre
45 $\mu$	7,5	9,6	10,2	10,7	11,7	13,2	11,6
90 $\mu$	0,7	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2



**Figure IV-11:** Effet de poudre de verre et marbre sur le refus.

#### Interprétation :

Les résultats expérimentaux obtenus présentent Tableaux (IV-11) et le Figure (IV-11) l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre le refus à 45  $\mu$ m et 90 $\mu$ m

- On remarque de l'augmentation de l'ajout poudre de verre et poudre de marbre avec l'augmentation de refus 45  $\mu$ m et 90  $\mu$ m.
- La valeur la plus faible est ciment témoin par rapport les ajouts.
- Les formulations (C+10% V,C+5%M,C+10%M,C+10% V+5%M) présente la même valeur de 90  $\mu$ m.

## IV-3 Analyse chimique des ciments préparés :

Tableau IV-12 : Analyse chimique des ciments préparés.

Code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PAF
Ciment témoin (MATINE)	18,51	4,88	2,96	58,3	1,85	2,39	0	0,1	0,016	8,74
5 % Verre	19,2	5,07	2,87	56,42	1,86	2,57	0	0,1	0,015	9,71
10 % Verre	20,5	5,34	2,84	55,5	1,83	2,49	0	0,1	0,015	9,64
5 % Marbre	17,55	4,67	2,81	58,38	1,88	2,54	0	0,1	0,016	10,65
10 % Marbre	16,9	4,44	2,77	59	1,87	2,32	0	0,11	0,014	12,5
5 % Verre+10 % Marbre	18,05	4,66	2,71	56,91	1,83	2,17	0	0,1	0,014	12,94
10% Verre+5 % Marbre	19,73	5,07	2,73	56,04	1,82	2,24	0	0,1	0,015	13,04

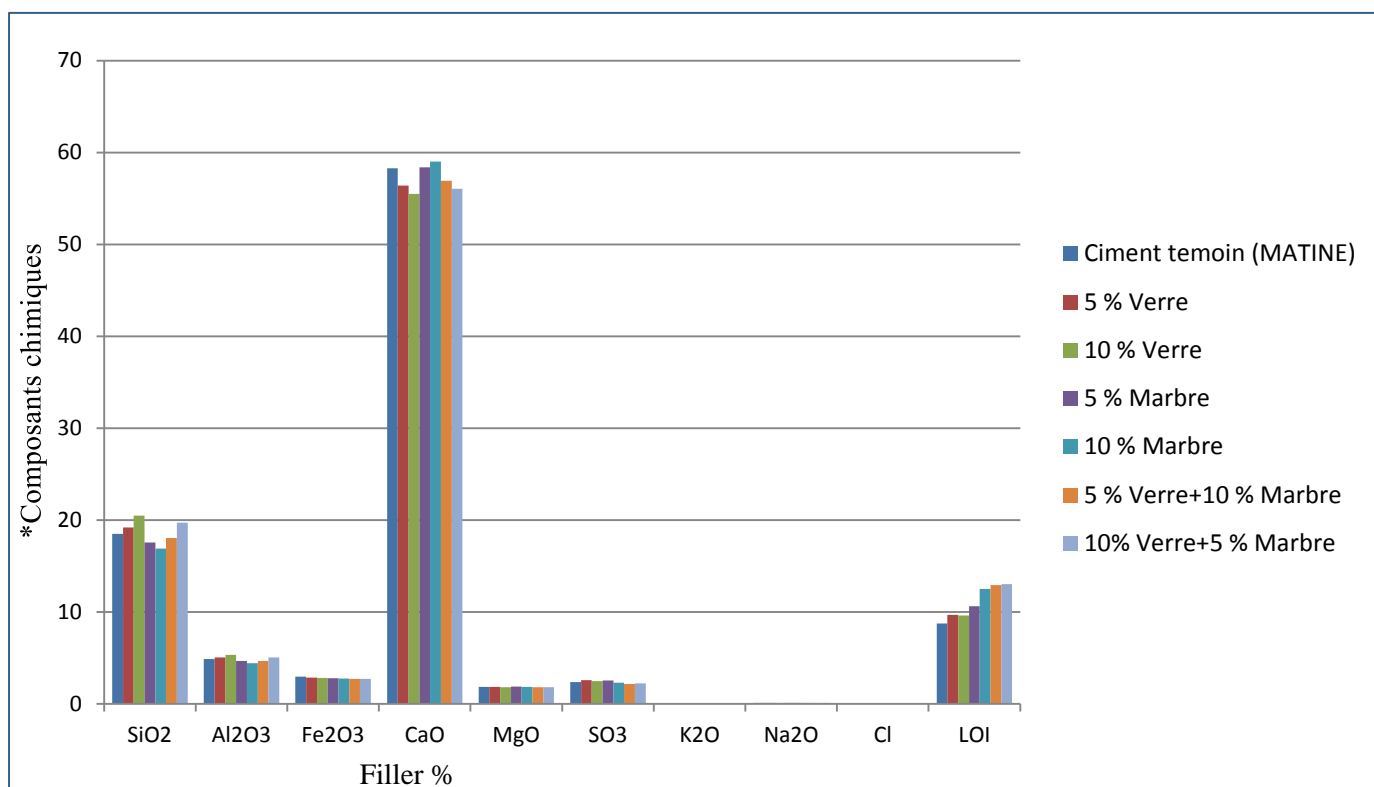


Figure IV-12: Analyse chimique des ciments préparés.

**Interprétation :**

Les résultats expérimentaux obtenus présentent tableaux (IV-11) et le Figure (IV-11) l'effet du taux d'ajout poudre de verre et poudre de marbre sur les analyses chimiques.

- La composition chimique est un facteur déterminant de la résistance des ciments aux agents agressifs, On voit que le pourcentage en teneur d'anhydride de sulfurique ( $SO_3$ ) et inférieur à 4 % ceci est conforme à la norme NF EN 197-1.
- Et d'autre composants et l'oxyde de magnésium (Mgo) ne doit pas dépasser 5% en masse.
- On remarque le Cao est le composant le plus important suivant de  $SiO_2$  et PAF.
- On note que le reste des composants sont inférieur à 5%.

**IV-4 Conclusion**

Nous avons vu dans cette partie que le pourcentage de la poudre de verre utilisé comme ajout, ainsi que la variation de quantité ont des effets considérables sur le ciment favorables pour certaines et défavorables pour certaines d'autre. Les meilleures propriétés physico-mécaniques sont obtenues pour 10%de poudre de verre.