

## Chapitre V : Résultats et Analyses

### V.1 Introduction :

Le béton autoplaçant (BAP) est un béton qui à l'état frais, est caractérisé par une fluidité telle que par le seul effet de son poids propre et sans énergie de compactage supplémentaire, il est capable de remplir complètement le coffrage, même à travers une nappe d'armatures dense ou en présence d'autres obstacles, tout en ayant une résistance à la ségrégation suffisante pour rester homogène lors du transport, du pompage et de la mise en œuvre.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les propriétés rhéologiques et mécaniques d'un béton autoplaçant avec l'ajout de deux types (poudre de marbre et filler de calcaire) avec différents pourcentages 5%, 10% poudre marbre et 5%, 10% fillers de calcaire et 5% marbre et 5% fillers de calcaire pour béton autoplaçant mélange pour voir l'influence de la nature, et le pourcentage des additions sur les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

### V.2 Les formulations des bétons réalisés sont les suivantes :

BAP<sub>T</sub> → Béton autoplaçant témoin sans filler.

BAP 5<sub>M</sub> → Béton autoplaçant avec l'ajout de 5% de poudre de marbre.

BAP 10<sub>M</sub> → Béton autoplaçant avec l'ajout de 10% de poudre de marbre.

BAP 5<sub>F</sub> → Béton autoplaçant avec l'ajout de 5% de filler de calcaire.

BAP 10<sub>F</sub> → Béton autoplaçant avec l'ajout de 10% de filler de calcaire.

BAP<sub>MF</sub> → Béton autoplaçant mélange 5% poudre de marbre et 5% filler de calcaire.

### V.3 Présentation de résultats :

A partir des mélanges obtenus, il faut procéder à différents essais afin de caractériser les BAP confectionnés. Pour cela, nous utilisons les tests recommandés par l'AFGC [62]

#### V.3.1 Résultats des essais à l'état frais :

Après formulation, Les essais caractéristiques sur béton frais ont été réalisés juste après le gâchage. Ce sont ceux recommandés par l'AFGC. Une étude des propriétés du BAP est établie pour vérifier le comportement à l'état frais, qui se manifeste dans l'étalement pour les milieux non confiné, ainsi que son écoulement dans les milieux confinés illustré dans la boîte en L et stabilité au tamis.

Le tableau ci-après présente les résultats des essais rhéologiques des BAP ainsi que leurs masses volumiques, pour la poudre de marbre et le filler calcaire.

Tableau V.1 : Caractéristiques rhéologiques des BAP avec poudre de marbre et filler calcaire .

TYPE DU BETON	L'étalement (cm)	Stabilité de tamis (%)	Boîte en L (h2/h1)	Mv (Kg/m <sup>3</sup> )
BAP <sub>T</sub>	66	8	0.8	2.290
BAP 5 <sub>M</sub>	71	8.65	0.93	2.306
BAP 10 <sub>M</sub>	73	9.1	0.96	2.335
BAP 5 <sub>F</sub>	69	8.9	0.90	2.315
BAP 10 <sub>F</sub>	67	9.3	0.88	2.342
BAP <sub>MF</sub>	70	9	0.91	2.338

Commentaire :

D'après les résultats inscrits dans le tableau V.1 :

Les étalements des bétons autoplaçant testés sont supérieurs à 55 cm, le taux de remplissage de la boîte en L est de l'ordre 80 %, la laitance est inférieure de 15 % selon le critère d'acceptabilité, la stabilité au tamis est considéré comme satisfaisante.

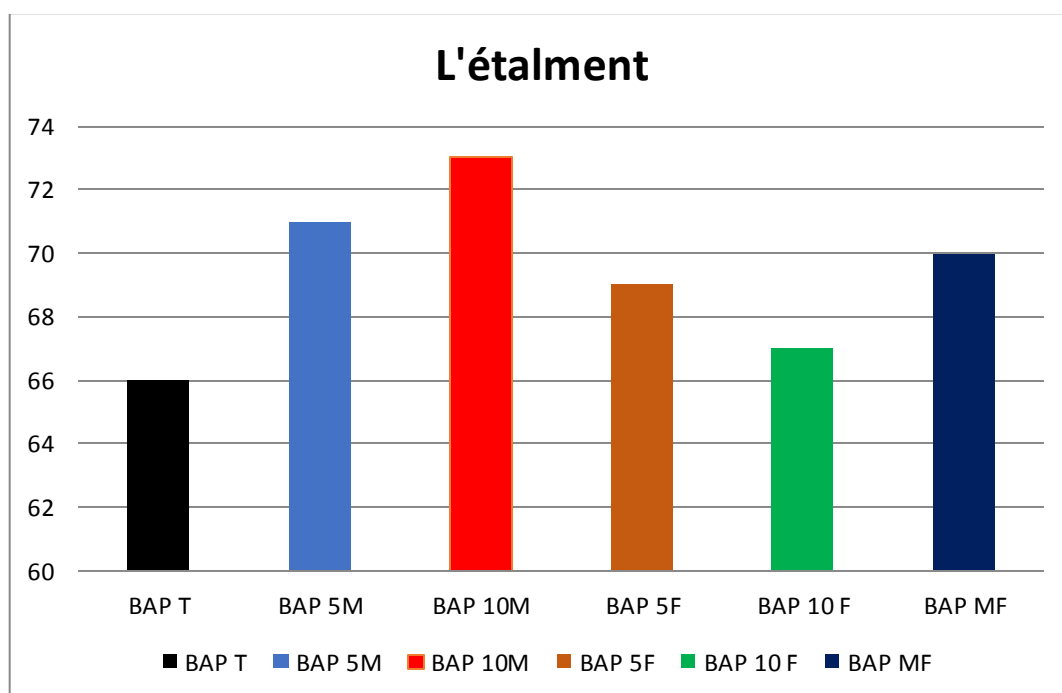


Figure V.1 : l'étalement en fonction des types de béton

L'introduction des poudres de marbre entraîne une amélioration de l'étalement par rapport au béton de référence BAP<sub>T</sub> pour une augmentation de 7.25 % dans la formulation contenant 5% de PM, et de 10.60 % pour celle qui contient 10 % PM.

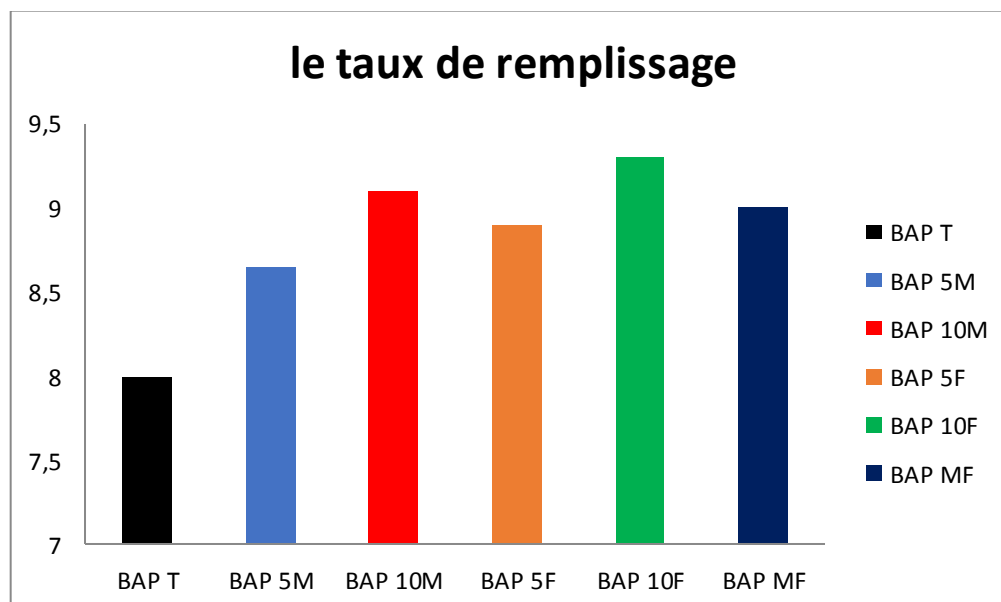
D'après les résultats donnée dans le tableau et les figures ci-dessus, on trouve une légère amélioration d'étalement de l'ordre de 4.54 % dans la formulation contenant 5% de FC, et de 1.15 % pour celle qui contient 10 % FC.

Pour un BAP avec mélange de filler de calcaire et poudre de marbre(MF) à un dosage de 10 %, une augmentation d'environ 6.06 % est enregistrée par rapport au béton témoin.

D'après la figure V.1 on voit clairement que l'étalement de BAP (PM) est supérieure à celle des BAP (FC), ceci peut être expliqué par le fait que la finesse de FC est supérieure de celle de PM alors la demande en eau du filler calcaire est plus importante que celle du poudre de marbre .l'étalement diminue avec l'augmentation de la finesse de l'ajout

L'augmentation de la déformabilité de BAP (PM) par rapport à celle des BAP (FC) peut être due aussi à la finesse de la poudre de marbre qui est plus grande que celle du ciment. Cette finesse, qui améliore la granulométrie et la compacité, contribue de manière significative à l'amélioration de la rhéologie et la stabilité des bétons, ces résultats déjà trouvés par [63]

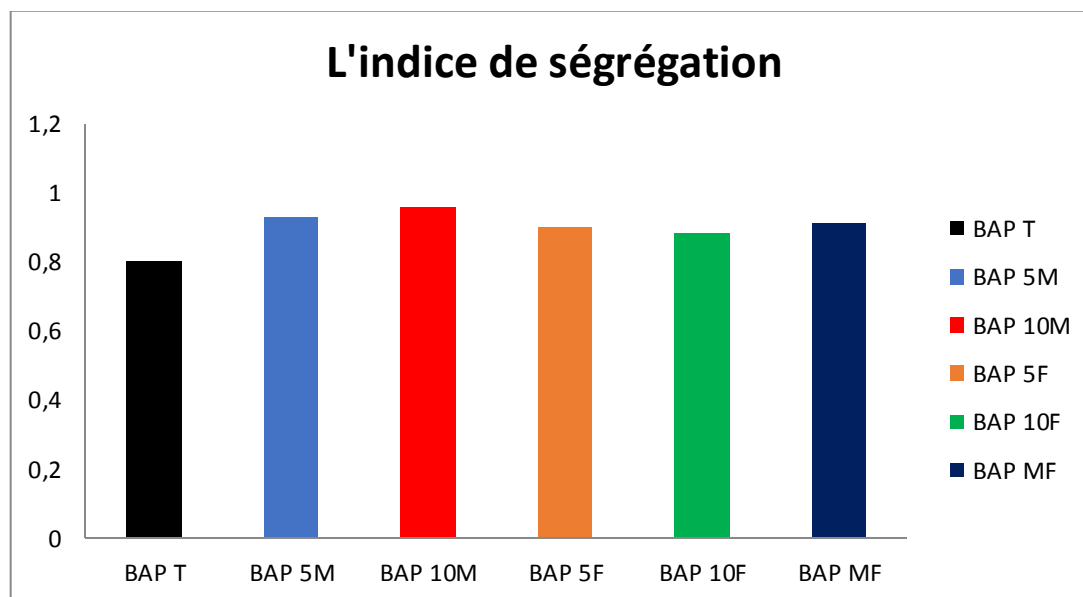
L'augmentation du dosage en filler dans les suspensions entraîne toujours un grand de l'étalement, on remarque que l'augmentation du dosage de la poudre de marbre augmente l'étalement, alors que l'augmentation de dosage de filler calcaire entraîne une diminution de l'étalement.



**Figure V.2 : Le taux de remplissage en fonction du types de béton**

Tous nos bétons ont présentés une bonne stabilité au tamis pas de ségrégation statique. En effet, la quantité de laitance est située dans le domaine des BAP, soit inférieure à 15 % pour tous les BAP validés, le rôle des additions pour limiter les risques de ségrégation et de ressuage.

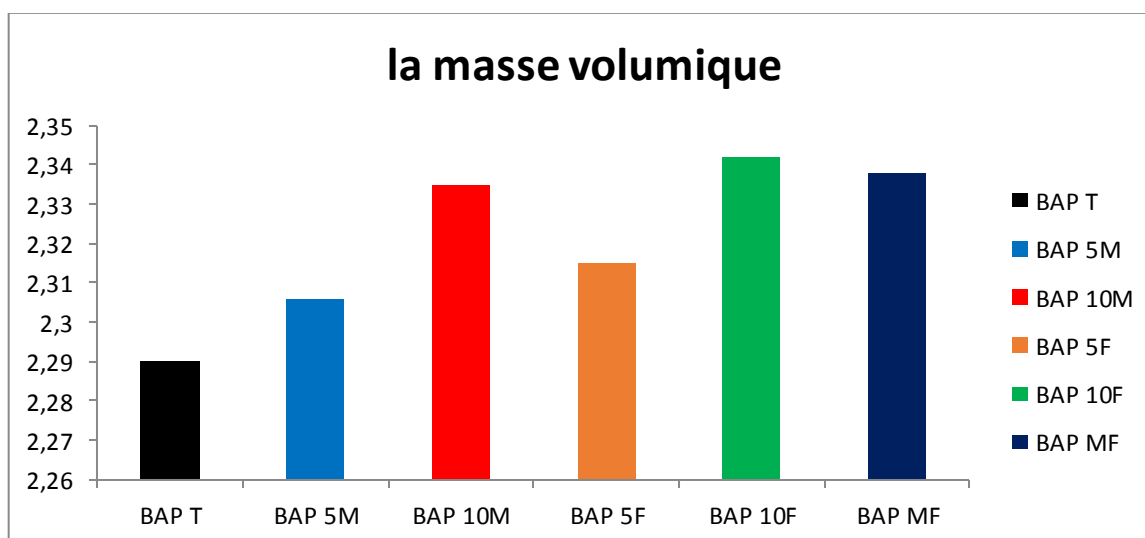
On remarque aussi que l'accroissement de la teneur en addition minérale donne une diminution de la résistance à la ségrégation. Ce résultat s'explique du fait que les grains de l'addition minérale améliorent la granulométrie et la compacité des BAP, ce qui peut donner une stabilité accrue.



**Figure V.3 : L'indice de ségrégation en fonction du types de béton**

Les résultats obtenus par l'essai L-Box, sont présentés sur la figure V.3. L'essai de la boîte en L est le teste qui permet de vérifier la capacité d'un béton à s'écouler dans un milieu confiné.

Les résultats trouvés dévoilent que le L-Box se manifeste de la même façon que dans un milieu confiné. Dès que le ciment se met en contact avec l'eau, les réactions d'hydratations seront plus poussées et plus accélérées et la germination est facilité par la présence de la calcite qui existe dans la poudre de marbre, sans oublier l'absorption élevée de calcaire par rapport à la poudre de marbre, et sans omettre que l'augmentation de l'absorption est en fonction de la finesse, ce qui traduit la variation de l'écoulement.



**Figure V.4 :La masse volumique en fonction du types de béton.**

L'effet de la poudre de marbre et fillers de calcaire, la finesse et le superplastifiant sur la masse volumique est présenté sur la Figure V.4.

D'après la figure V.4 on observe que la masse volumique des BAP (FC) est supérieure à celle des BAP (MP), mais dans les deux cas, elle augmente avec de la finesse ces résultats déjà trouvé par [63].

D'après la figure V.4, on remarque que les fillers de calcaire caractérisés par leur finesse s'insèrent dans les petits vides entre les grains fins de sable, de gravier et du ciment. Il en résulte une meilleure compacité, ce qui justifie l'augmentation de la masse volumique. On peut dire qu'il y a une proportionnalité entre la masse volumique et le pourcentage (%) d'ajout, cette proportionnalité peut être expliquée par l'effet de l'arrangement des micro grains qui s'infiltreront dans les micro vides en augmentant la fermeté du béton donc on peut prouver que l'effet granulaire, conditionné par une finesse de mouture élevée par rapport à celle du ciment explique ce phénomène et bien sûr par l'intermédiaire du superplastifiant qui assure une meilleure mobilité.

### V.3.2 Caractérisation générale des bétons à l'état durci :

#### V.3.2.1 Béton autoplaçant avec ajout de poudre de marbre :

- Évolutions de la résistance à la compression et traction par flexion :

Tableau V.2 : Caractéristiques mécaniques avec ajout de poudre de marbre

Type de béton	Caractéristiques mécaniques			
	Résistance à la compression $R_c$			$R_t$ à la traction par flexion
	7 jours	14 jours	28 jours	28 jours
<b>BAP<sub>T</sub></b>	25,76	28,93	29,24	4.20
<b>BAP 5<sub>M</sub></b>	31,05	32,05	32,85	4.60
<b>BAP 10<sub>M</sub></b>	34,25	35,14	36,12	4.70

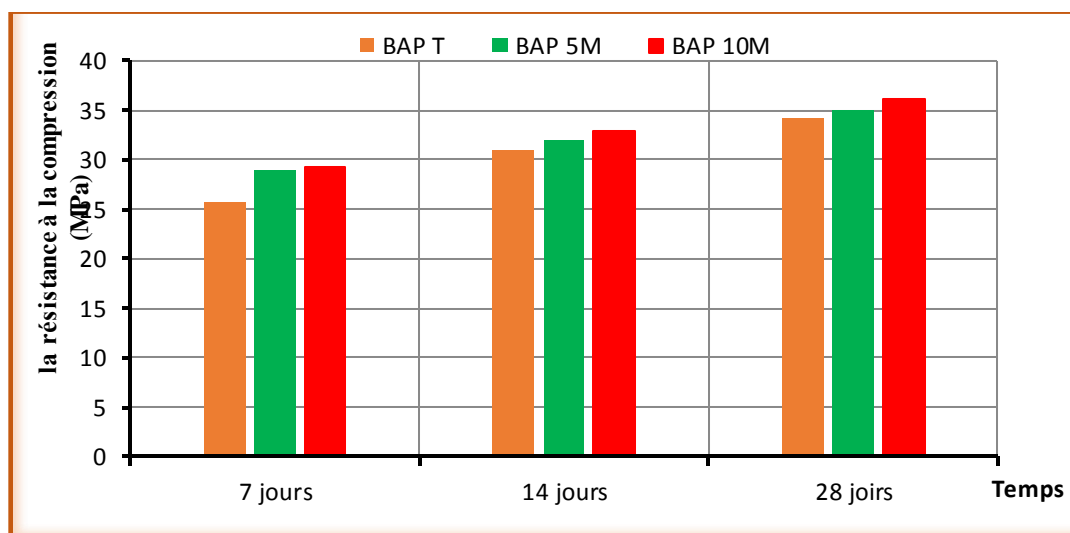


Figure V.5 : Évolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton.

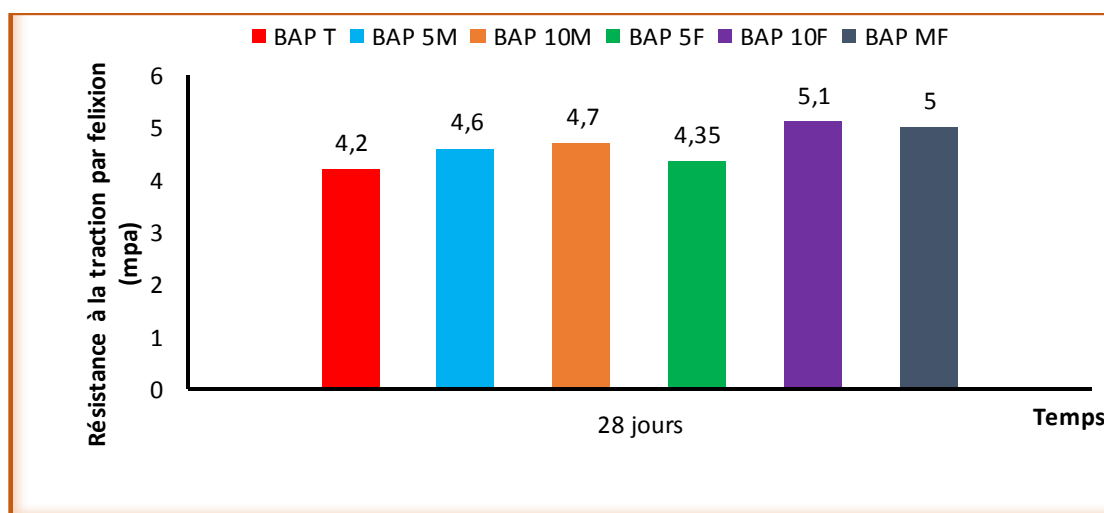


Figure V.6 : Évolutions de la Résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge du béton

Le tableau et les figures ci-dessus présentent les caractéristiques mécaniques d'un BAP témoin (sans ajout) et un autre BAP M (avec ajout de marbre) avec un pourcentage de 5% et 10 % en volume du ciment pour la formulation du BAP.

D'après les résultats inscrites dans le tableau V.2 et les figures (v.5 et v6) ci-dessus on trouve une légère amélioration de résistance à la compression de l'ordre de 12.34 % dans la formulation contenant 5% de PM, et de 23.52 % pour celle qui contient 10 % PM.

Concernant la résistance à la flexion il y'a une légère augmentation de résistance de l'ordre de 9.52 % pour la formulation qui contient 5% de PM, et de 19.04% pour celle qui contient 10 % de PM. Donc l'introduction de poudre du marbre jouent un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des BAP. ceci est dû à la nature de la PM qui appartient à la famille

des fillers quasi inertes. Ces fillers sont composées principalement de  $\text{CaCO}_3$ . Cet élément accélère l'hydratation du C3S, ce qui améliore les résistances aux jeunes âges. Son effet a tendance à se stabiliser à long terme.

### V.3.2.2 Béton autoplaçant avec ajout de filler de calcaire :

- Évolutions de la résistance à la compression et traction par flexion :

Tableau V.3 : Caractéristiques mécaniques avec ajout filler de calcaire

Type de béton	Caractéristiques mécaniques			
	Résistance à la compression $R_c$			$R_T$ à la traction par flexion
	7 jours	14 jours	28 jours	28 jours
<b>BAP<sub>T</sub></b>	25,76	28,93	29,24	4.20
<b>BAP 5<sub>F</sub></b>	29.14	33.06	36.14	4.35
<b>BAP 10<sub>F</sub></b>	31.87	34.48	38.32	5.10

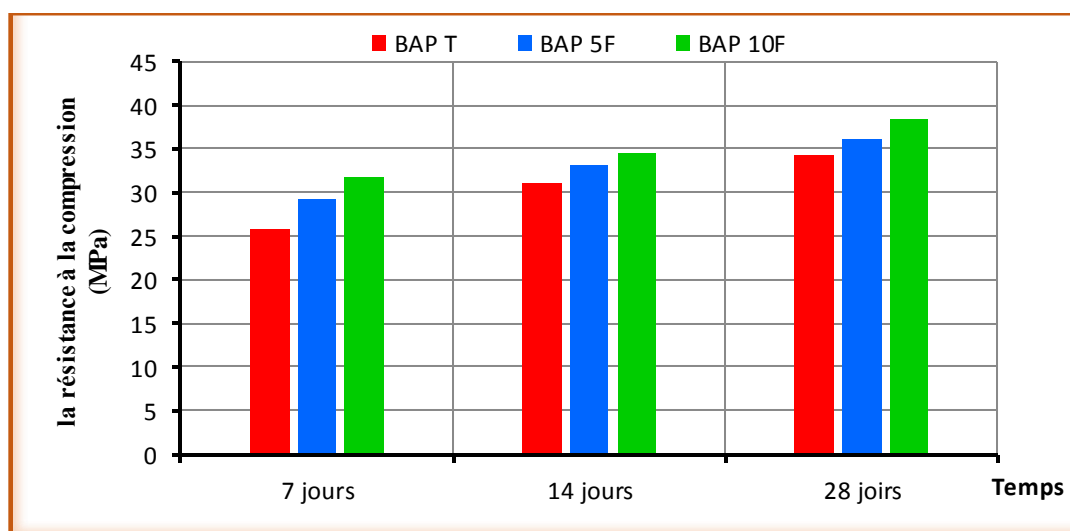


Figure V.7 : Évolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton.

L'introduction des fillers de calcaire entraîne une amélioration des résistances mécaniques par rapport au béton de référence BAP<sub>T</sub> la résistance à la compression augmente de 23.59 % dans la formulation contenant 5% de FC, et de 31.05 % pour celle qui contient 10 % FC.

Concernant la résistance à la flexion, il y'a une légère augmentation de résistance de l'ordre de 3.57 % pour la formulation qui contient 5% de FC, et de 21.42% pour celle qui

contient 10 % de FC. Donc, l'introduction des fillers de calcaire jouer un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des BAP. Cette amélioration des résistances dépend de la nature, de la finesse et du dosage de filler de calcaire. Même l'utilisation du superplastifiant dans les formulations des BAP qui peut avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique.

### V.3.2.3 Béton autoplaçant avec ajout de filler de calcaire et poudre de marbre :

- Évolutions de la résistance à la compression et traction par flexion :

Tableau V.4 : Caractéristiques mécaniques avec ajout mélangé(MF)

Type de béton	Caractéristiques mécaniques			
	Résistance à la compression $R_c$			$R_T$ à la traction par flexion
	7 jours	14 jours	28 jours	28 jours
<b>BAP<sub>T</sub></b>	25,76	28,93	29,24	4.20
<b>BAP<sub>MF</sub></b>	28.99	31.19	36.79	5.00

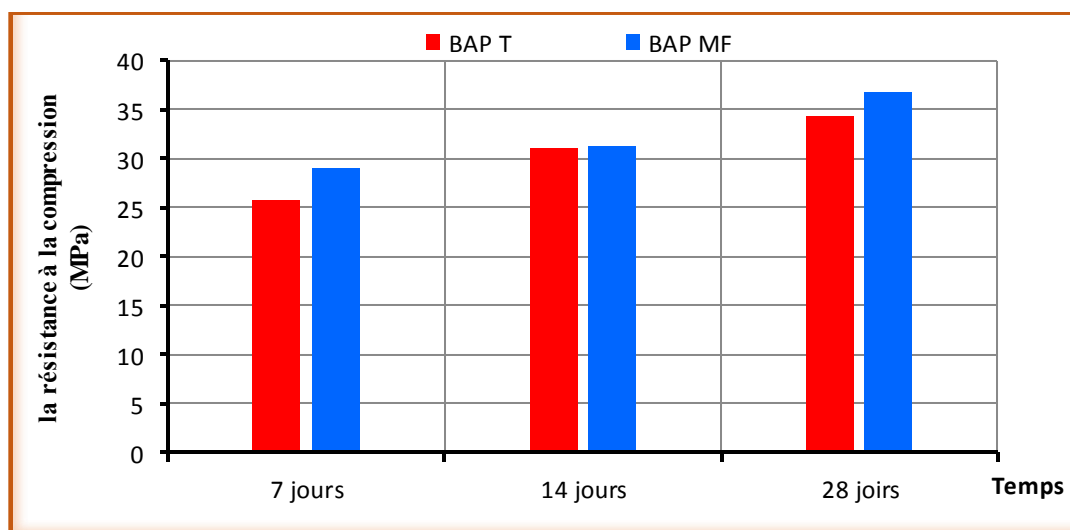


Figure V.8 : Évolutions de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton

On peut clairement remarquer que la présence de mélange des fillers de calcaire et poudre de marbre entraîne une amélioration des résistances mécaniques par rapport à BAP<sub>T</sub>. La résistance à la compression est plus élevée que le dosage en mélange (MF) augmente.

Pour un BAP avec mélange de filler de calcaire et poudre de marbre à un dosage de 10 %, une augmentation d'environ 25.82 % est enregistrée par rapport au béton témoin.

La résistance à la flexion par flexion aussi il y'a une légère augmentation de résistance de l'ordre de 19.04 % pour la formulation qui contient 10% de MF, Donc l'introduction de MF jouent un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des BAP.

#### V.4 Les essais non destructive:

Le tableau ci-après présent les résultats des essais non destructifs des BAP, pour les différents dosages poudre de marbre et les fillers de calcaire.

Tableau V.5 : Résultats des essais non destructifs

Type du Béton	PAB <sub>T</sub>		BAP 5 <sub>M</sub>		PAB 10 <sub>M</sub>		BAP 5 <sub>F</sub>		PAB 10 <sub>F</sub>		BAP <sub>MF</sub>	
Méthode utilisé	Is	V	Is	V	Is	V	Is	V	Is	V	Is	V
7 j	30	3.700	32	3.924	32	3.985	32	3.950	34	4.110	33	4.068
14 j	33	4.042	35	4.200	35	4.290	36	4.267	37	4.426	34	4.172
28 j	36	4.321	37	4.420	37	4.475	37	4.486	38	4.550	36	4.385

#### V.4.1 Etude de corrélation (Rc) en fonction de (V) :

##### V.4.1.1 La corrélation (Rc) en fonction de (V) du béton autoplaçants témoin :

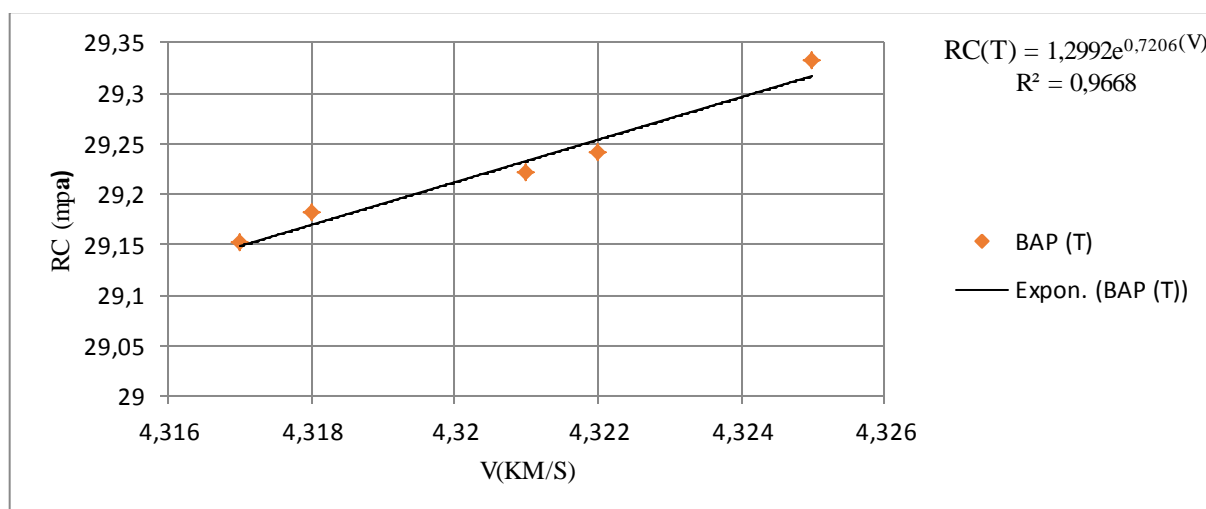


Figure V.9: Résistance à la compression (Rc) en fonction de la vitesse d'ultrason (V) de béton BAP<sub>T</sub>

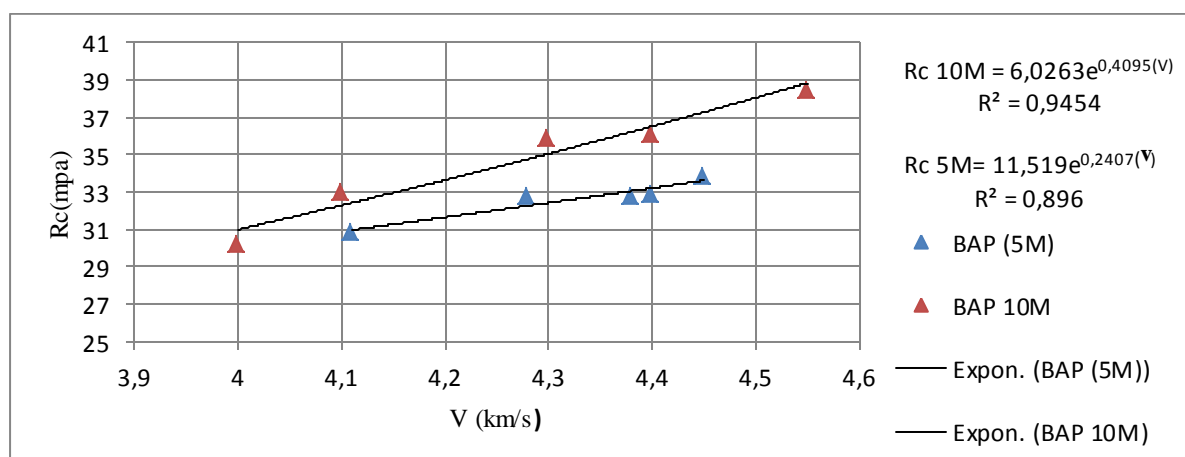
On remarque d'après la figure V.9, une dispersion acceptable pour le béton (BAP<sub>T</sub>) avec des coefficients de corrélation  $R^2=0.9668$

La corrélation obtenue de type non linéaire (exponentielles)

Les formules obtenues prennent la forme :

$$R_{C(T)} = 1,2992e^{0,7206(V)} \quad R^2 = 0,9668$$

#### V.4.1.2 La corrélation (Rc) en fonction de (V) du béton BAP 5<sub>M</sub> et BAP 10<sub>M</sub> :



**Figure V.10 : Résistance à la compression (Rc) en fonction de la vitesse d'ultrason (V) de BAP 5<sub>M</sub> et BAP 10<sub>M</sub>**

On remarque d'après la figure V.10, pour les bétons (BAP 10<sub>M</sub>) et (BAP 5<sub>M</sub>), ( $R^2 = 0,9454$  et  $R^2 = 0,896$ ) une dispersion acceptable.

Les corrélations obtenues sont de type non linéaire (exponentielles)

Les formules obtenues prennent la forme :

$$R_c (5_m) = 11,519e^{0,2407(V)} \quad R^2 = 0,896$$

$$R_c (10_M) = 6,0263e^{0,4095(V)} \quad R^2 = 0,9454$$

### V.4.1.3 La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $V$ ) du béton BAP 5<sub>F</sub> et BAP 10<sub>F</sub> :

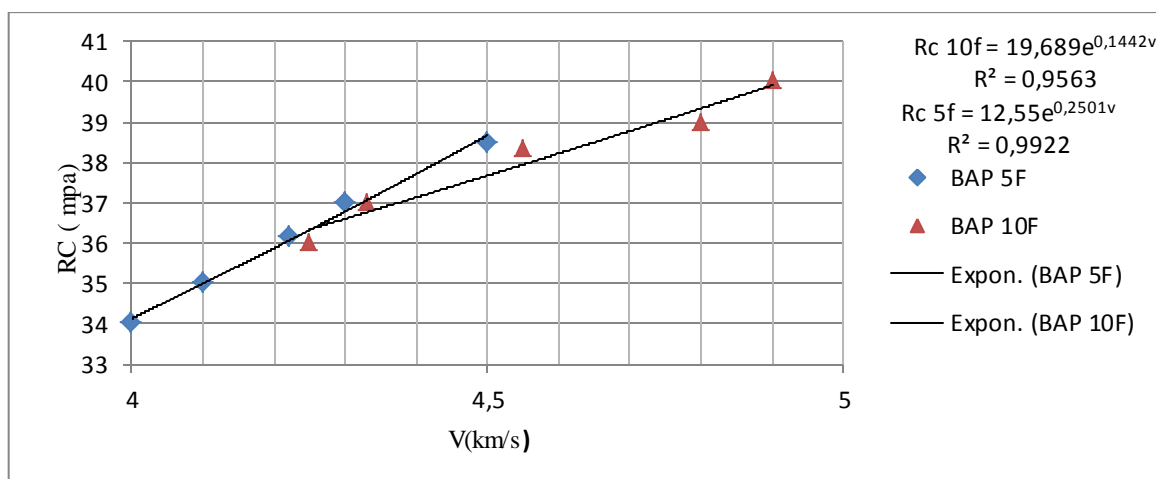


Figure.V.11 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason de BAP 5<sub>F</sub> et BAP

On remarque d'après la figure V.11, pour les bétons (BAP 10<sub>F</sub>) et (BAP 5<sub>F</sub>), ( $R^2 = 0,9563$  et  $R^2 = 0,9922$ ) une dispersion acceptable.

Les corrélations obtenues sont de type non linéaire (exponentielles).

Les formules obtenues prennent la forme :

$$R_c (5f) = 12,55e^{0,2501(v)} \quad R^2 = 0,9922$$

$$R_c (10f) = 19,689e^{0,1442v} \quad R^2 = 0,9563$$

### V.4.1.4 La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $V$ ) du béton BAP MF :

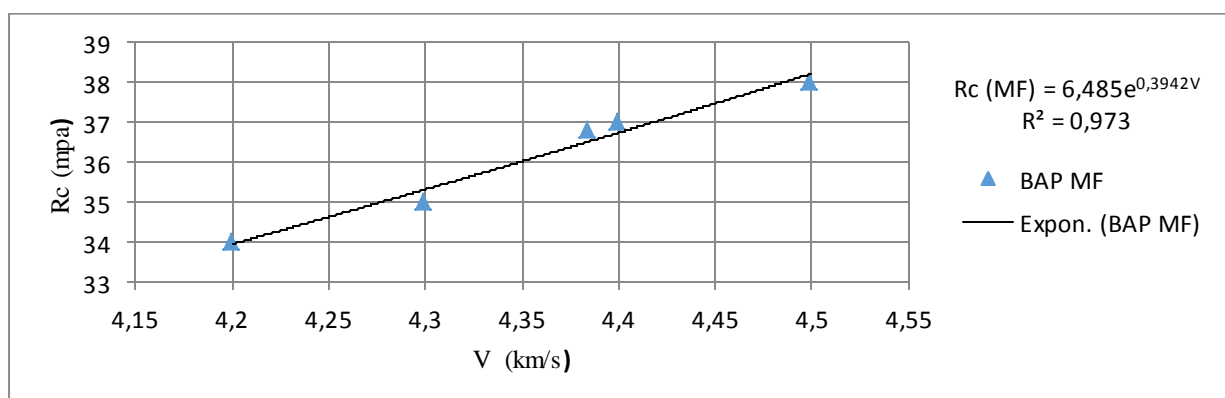


Figure V.12 : La résistance à la compression en fonction de la vitesse d'ultrason de BAP MF

On remarque d'après la figure V.12, une dispersion acceptable pour le béton (BAP MF) avec des coefficients de corrélation  $R^2=0.973$ .

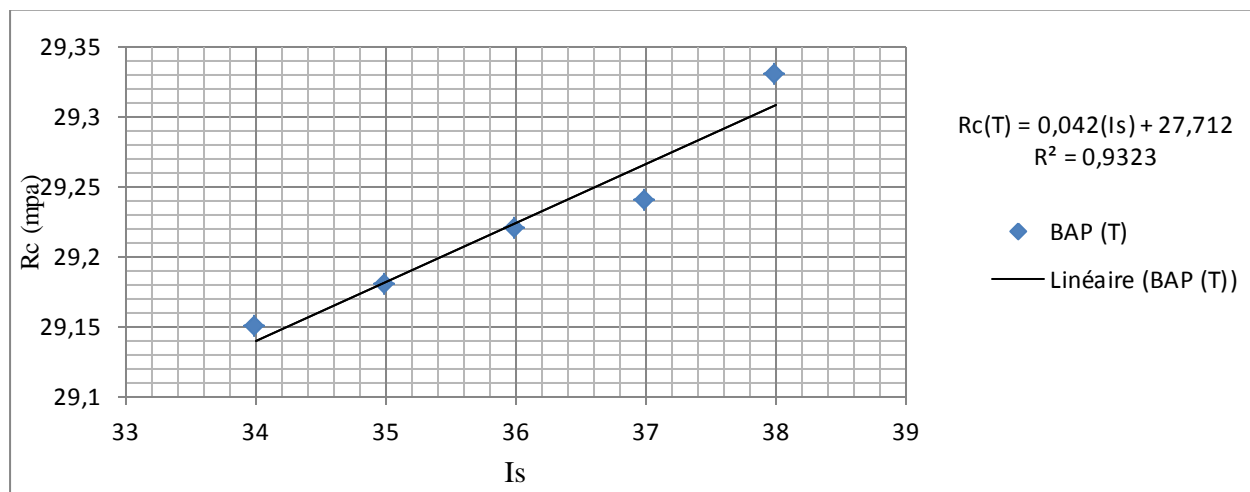
Les corrélations obtenues sont de type non linéaire (exponentielles).

Les formules obtenues prennent la forme :

$$Rc_{(MF)} = 6,485e^{0,3942(V)} \quad R^2 = 0,973$$

#### V.4.2 La corrélation ( $Rc$ ) en fonction de ( $Is$ ) :

##### V.4.2.1 La corrélation ( $Rc$ ) en fonction de ( $Is$ ) du béton autoplaçants témoin :



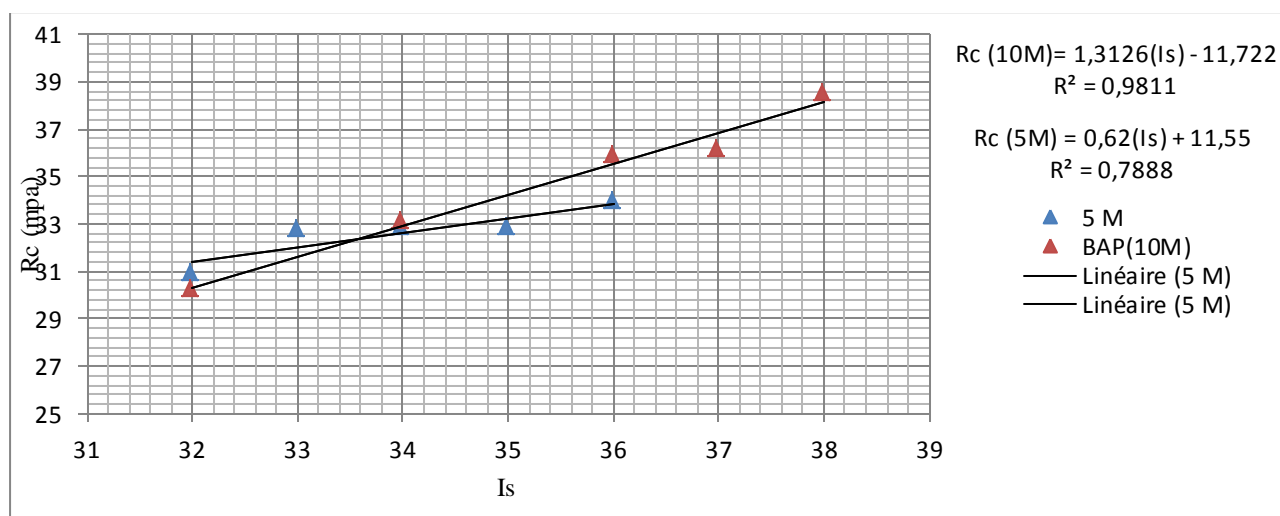
**Figure V.13 : La corrélation ( $Rc$ ) en fonction de ( $Is$ ) du béton autoplaçants témoin**

D'après la figure V.13, on remarque Pour le béton BAP<sub>T</sub> ( $R^2 = 0,9922$ ) une dispersion acceptable en fonction de l'indice sclérométique.

La corrélation obtenue de type linéaire sous la forme :

$$RC_{(T)} = 0,042(Is) + 27,712 \quad R^2 = 0,9323$$

##### V.4.2.2 La corrélation ( $Rc$ ) en fonction de ( $Is$ ) du béton BAP 5<sub>M</sub> et BAP 10<sub>M</sub> :



**Figure V.14 : La corrélation ( $Rc$ ) en fonction de ( $Is$ ) du béton BAP 5<sub>M</sub> et BAP 10<sub>M</sub>**

On remarque d'après la figure V.14, Pour les bétons (BAP 10<sub>M</sub>) et (BAP 5<sub>M</sub>) ( $R^2 = 0,9811$  Et  $R^2 = 0,7888$ ) une dispersion acceptable en fonction de l'indice sclérometrique respectivement.

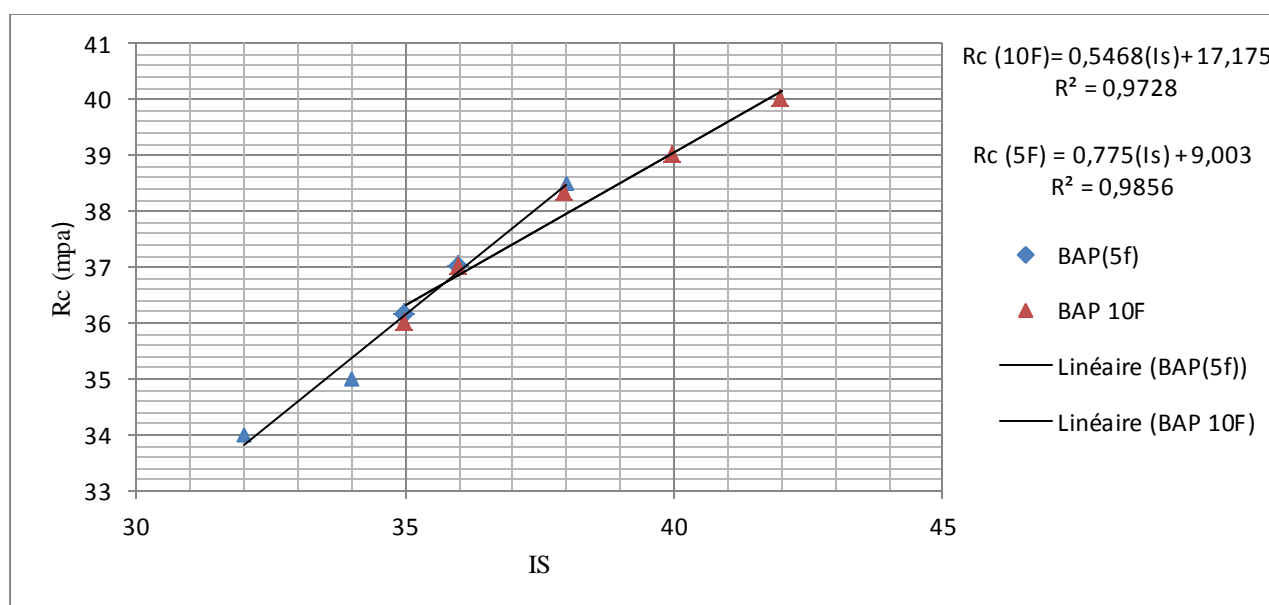
Les corrélations obtenues sont de type linéaire.

Les formules obtenues prennent la forme :

$$R_c (10_M) = 1,3126(I_s) - 11,722 \quad R^2 = 0,9811$$

$$R_c (5_M) = 0,62(I_s) + 11,55 \quad R^2 = 0,7888$$

#### V.4.2.3 La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $I_s$ ) du béton BAP 5<sub>F</sub> et BAP 10<sub>F</sub>



**Figure V.15 : La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $I_s$ ) du béton BAP 5<sub>F</sub> et BAP 10<sub>F</sub>**

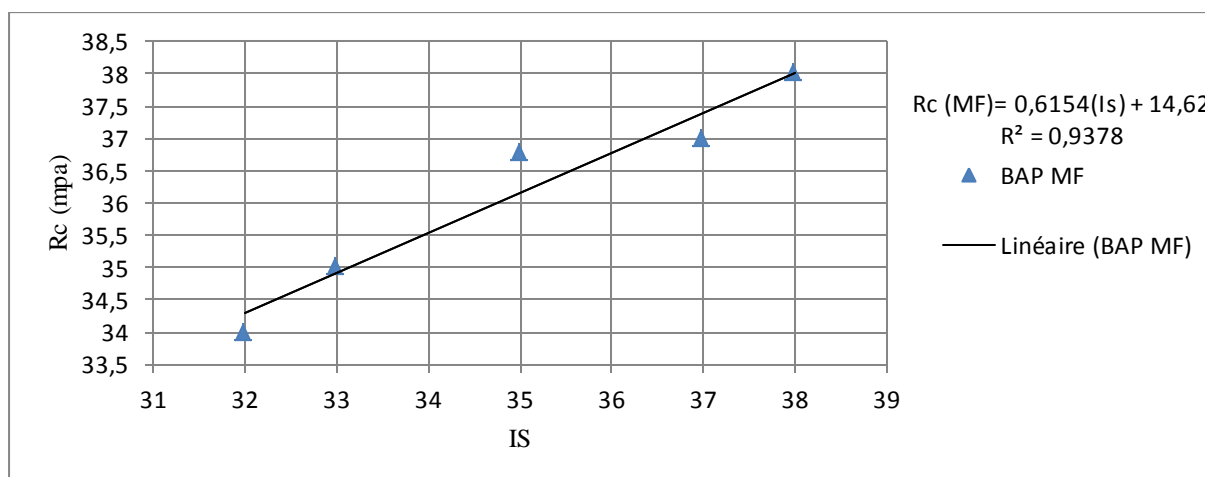
On remarque d'après la figure V.15, Pour les bétons (BAP 10<sub>F</sub>) et (BAP 5<sub>F</sub>) ( $R^2 = 0,9728$  et  $R^2 = 0,9856$ ) une dispersion acceptable en fonction de l'indice sclérometrique respectivement.

Les corrélations obtenues sont de type linéaire :

$$R_c (10_F) = 0,5468(I_s) + 17,175 \quad R^2 = 0,9728$$

$$R_c (5_F) = 0,775(I_s) + 9,003 \quad R^2 = 0,9856$$

#### V.4.2.4 La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $I_s$ ) du béton BAP<sub>MF</sub> :



**Figure V.16 : La corrélation ( $R_c$ ) en fonction de ( $I_s$ ) du béton BAP<sub>MF</sub>**

D'après la figure V.16, on remarque Pour le béton BAP<sub>MF</sub> ( $R^2 = 0,9378$ ) une dispersion acceptable en fonction de l'indice sclérométrique.

La corrélation obtenue de type linéaire sous la forme :

$$R_c (MF) = 0.6154(I_s) + 14.62 \quad R^2 = 0.9378$$

## V.5 Conclusion

Le cinquième chapitre est consacrée aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques d'un BAP témoin et autre différents type de BAP.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les propriétés rhéologiques et mécaniques d'un béton autoplaçant avec l'ajouts de deux types d'addition minérales (poudre de marbre et fillers de calcaire) avec différents pourcentages 5% ; 10 % poudre marbre et 5%,10% filler de calcaire et un mélange d'une combinaison de (5% marbre et 5% filler de calcaire) pour voir l'influence de la nature, et le pourcentage de l'additions sur les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

D'après les résultats obtenus on constate que :

Pour l'influence de pourcentage de filler et d'après les résultats on observe avec l'augmentation du dosage de filler du béton une amélioration les propriétés rhéologiques,

Pour l'influence de la nature des ajouts :

Le béton autoplaçant BAP 10<sub>M</sub> à donner une meilleure rhéologie :

- un bon étalement
- un bonne résistance à la ségrégation
- une bonne stabilité

Le béton autoplaçant BAP 10<sub>F</sub> a donné une meilleure réponse mécanique

La performance du béton autoplaçant avec les ajouts minéraux se comporte mieux qu'un BAP avec le filler de calcaire.