

## Chapitre III

Ce chapitre traite la durabilité des MAP (mortier auto plaçant)

### III.1 Durabilité des MAP

#### III.1.1 Introduction

La durabilité est tout importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité de la condition de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité [32]. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Le matériau béton est un composite constitué d'un squelette granulaire et d'un liant, le matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des pâtes de ciment hydratées. Cette pâte est un matériau poreux particulièrement ou complètement saturé en phase liquide, la solution interstitielle [33]. Cette dernière est une solution aqueuse en équilibre avec les phases solides, fortement basique (pH environ 13) due à la présence d'ions  $\text{OH}^-$  et alcalins, issu de  $\text{C}_3\text{S}$  et  $\text{C}_2\text{S}$ .

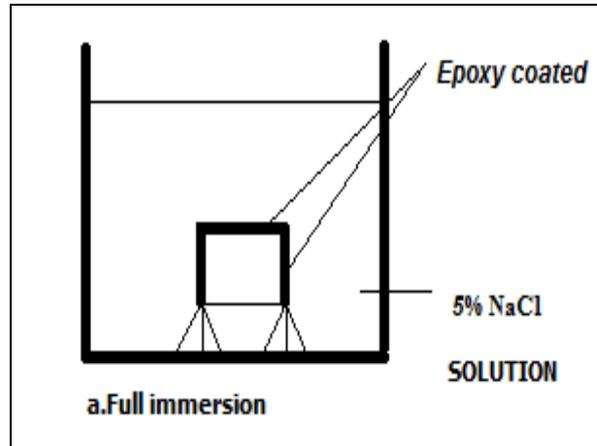
Les altérations chimiques du béton se traduisent essentiellement :

- ❖ Par une dissolution de la chaux d'hydratation  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , avec une augmentation progressive de la porosité et une accélération du mécanisme de dégradation ;
- ❖ Et ensuite par la formation de composés expansifs (en particulier avec le  $\text{C}_3\text{A}$  du liant hydraulique) détruisant peu à peu le béton [34,35].
- ❖ La dégradation des constructions en béton résulte de la corrosion de son armature par suite de la carbonatation du béton et à d'autres agents agressifs (ions de chlorure, pluie acide ...etc.). L'armature corrodée augmente de volume, le béton le recouvrant s'effrite et la construction se détruit.

### III.2. Essai de pénétration rapide d'ions chlorés (Rapid Chloride Penetration Test) (RCPT)

Pour notre cas on n'a pas pu faire cet essai à cause d'une grave panne au niveau de l'appareil de mesure de perméabilité aux ions chlorés.

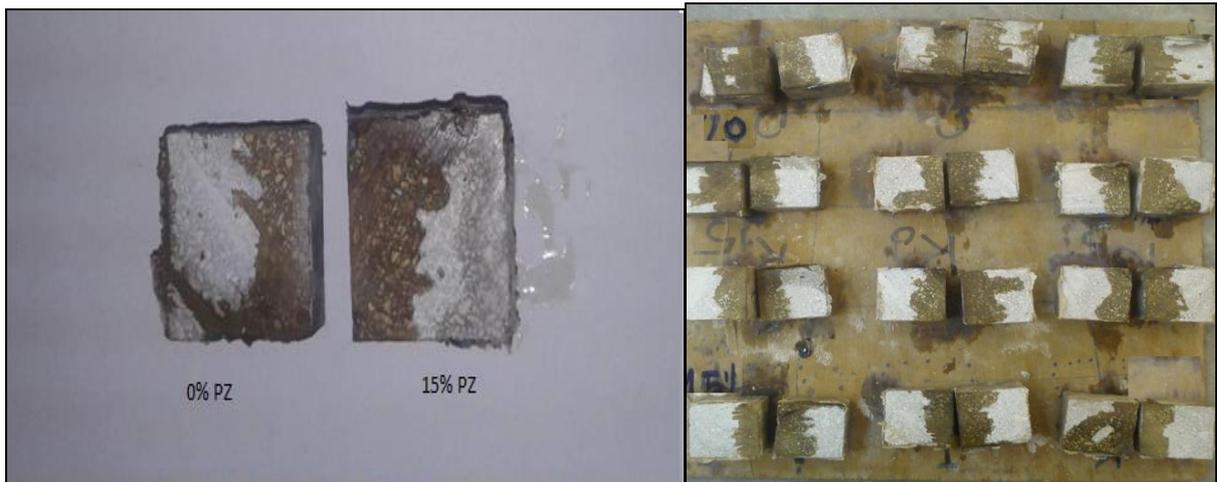
#### III. 2.1. Essai d'immersion totale (Full Immersion Test) (FIT) :



*Figure III.1: Immersion totale des échantillons dans une solution de 5% NaCl.*



*Figure III.2: Coupe de l'éprouvette en deux après 28,56 et 90 jours d'immersion (totale).*



*Figure III.3: Mesure de la profondeur de pénétration d'ion chlore*

Après coupée de l'éprouvette en deux on verse sur chaque section coupée une solution de nitrate d'argent  $\text{AgNO}_3$  selon la norme UNI 7928 [31]. Le bord de chaque section change de couleur, on obtient une couleur blanche qui représente la profondeur de pénétration des ions chlorures.

La profondeur de pénétration d'ion chlorure suit la seconde loi de Fick [36], la solution selon cette loi est donnée par l'équation suivante :

$$C/C_0 = 1 - \operatorname{erf} (x / 2 \sqrt{Dt}) \dots\dots\dots(1)$$

Où :

- C : concentration des ions chlorures
- X : Profondeur de pénétration des ions chlorures.
- C<sub>0</sub>: Concentration des ions chlorures à la surface exposée des mortiers.
- t : Temps d'immersion dans la solution
- D : Coefficient de diffusion d'ions chlorures.
- erf : La fonction d'erreur.

Une approximation de la formule (1) par l'expression suivante :

$$X = 4 \sqrt{Dt} \dots\dots\dots(2)$$

La relation entre le temps d'immersion et la profondeur de pénétration d'ion chlorure (X) est illustrée dans les figures III.8 et III.9.

Du graphe on constate que la profondeur de pénétration d'ions chlorures augmente avec le temps d'immersion et ceci pour tous les types de mortiers, cependant, on constate que cette profondeur diminue avec l'ajout de la pouzzolane.

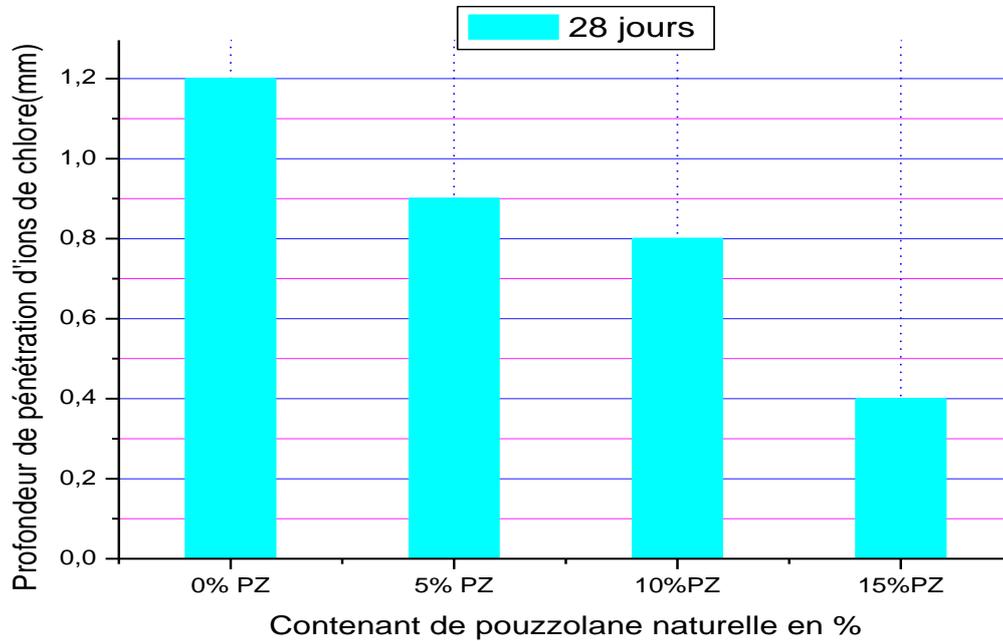
Le graphe (X = f(t)) est linéaire avec une ordonnée négative à X = 0, cela veut dire que le graphe ne suit pas la loi de Fick et ce à cause de la réaction des ions chlorures avec certains hydrates du ciment. Une estimation du coefficient apparent de diffusion des ions chlorures par la formule suivante peut être recommandée :

$$X = 4 \sqrt{D_a t} + k \dots\dots\dots(3)$$

Où

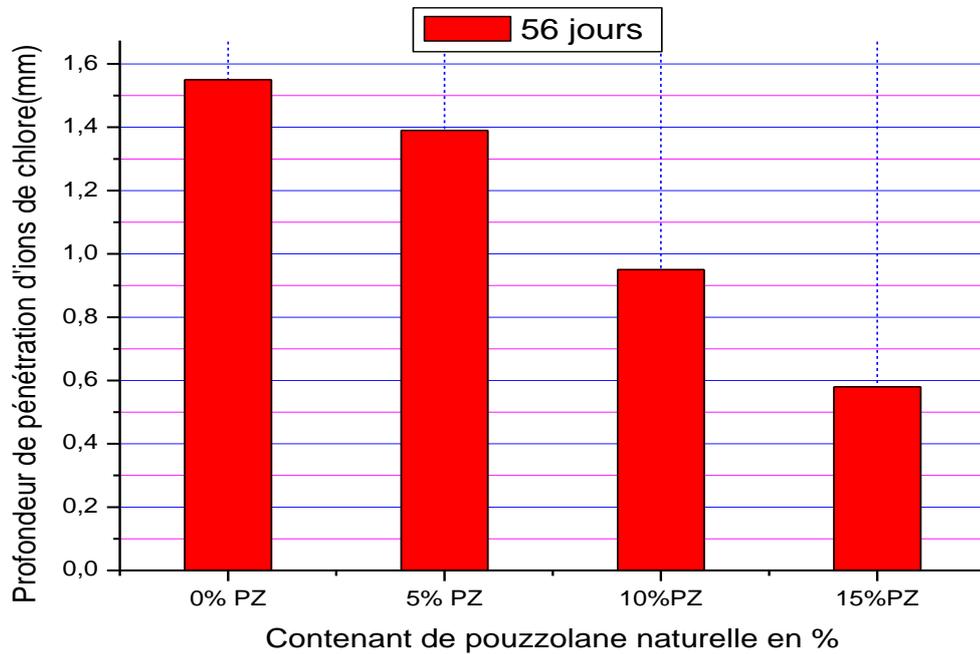
- Da : le coefficient apparent de diffusion des ions chlorures.
- k : Constante empirique.

### III.3. Résultats et discussion



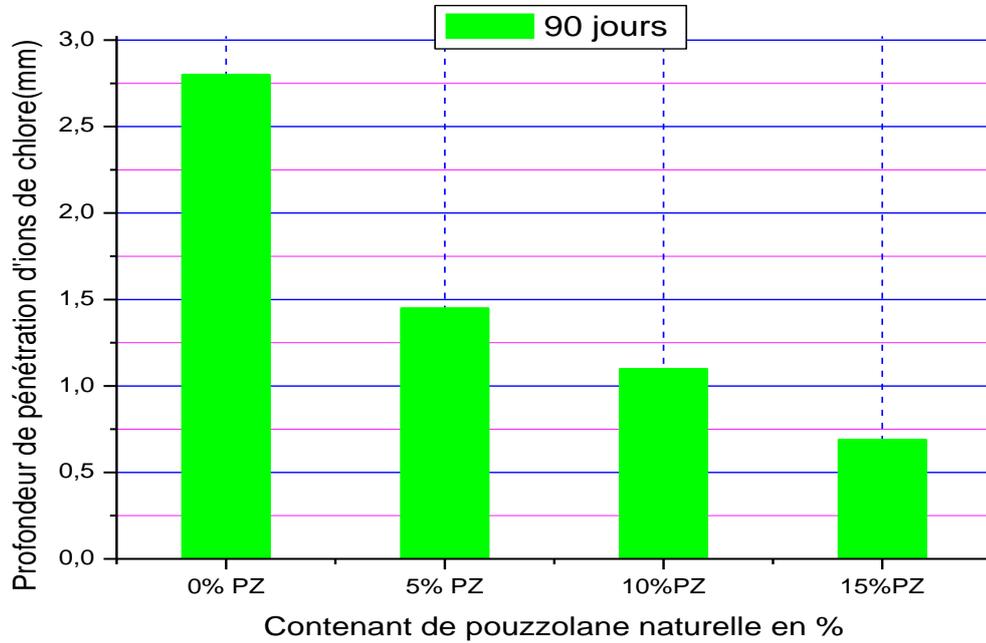
*Figure III.4: Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup> et le %de la pouzzolane naturelle à 28 jours d'immersion*

D'après la figure III.4 nous remarquons que la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup>, après 28 jours d'immersion diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle, par exemple la profondeur de pénétration du MAP témoin est égale à 1.2 mm par contre celle du MAP à 15% de pouzzolane est égale à 0.4 mm.



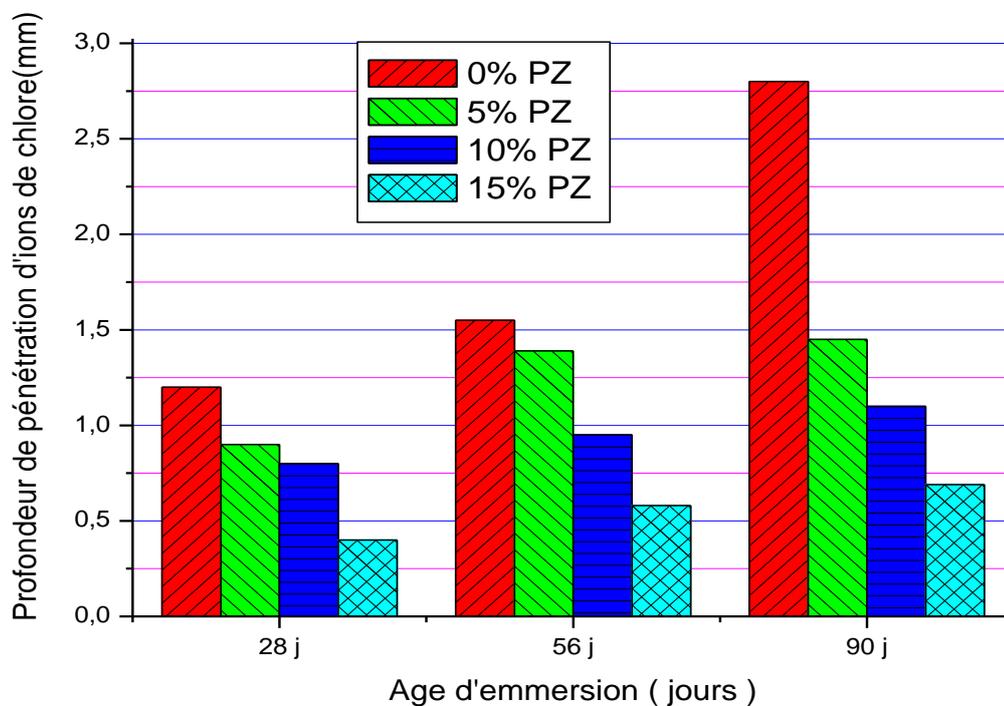
***Figure III.5 : Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup> et le %de la pouzzolane naturelle à 56 jours d'immersion***

D'après la figure III.5 nous remarquons que la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup>, après 56 jours d'immersion diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle, par exemple la profondeur de pénétration du MAP témoin est égale à 1,55 mm par contre celle du MAP à 15% de pouzzolane est égale à 0,58mm.



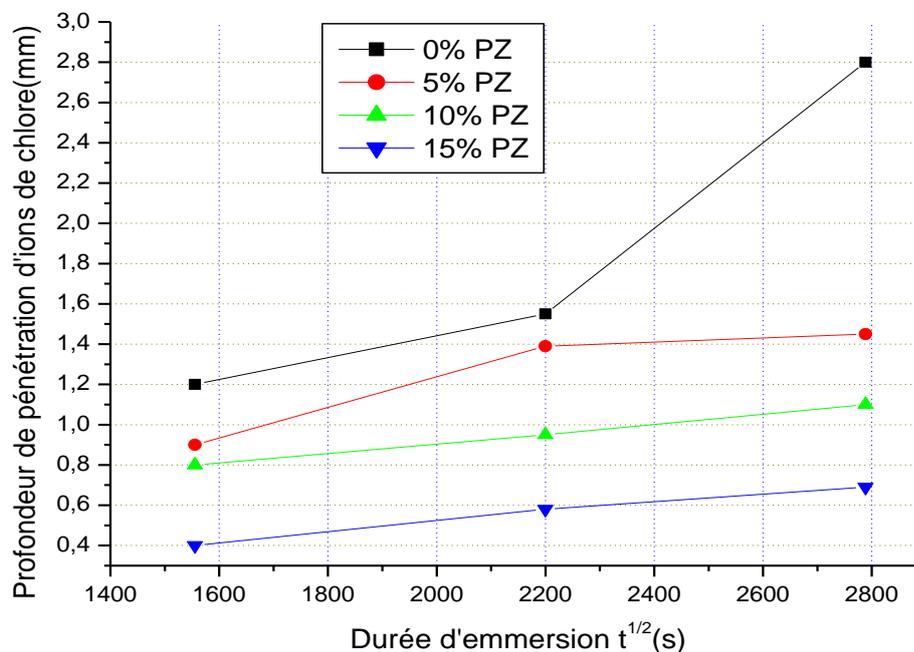
***Figure III.6: Relation entre la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup> et le %de la pouzzolane naturelle à 90 jours d'immersion***

D'après la figure III.6 nous remarquons que la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup>, après 90 jours d'immersion diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle, par exemple la profondeur de pénétration du MAP témoin est égale à 2.8 mm par contre celle du MAP à 15% de pouzzolane est égale à 0.58mm.



*Figure III.7: Comparaison entre la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup> et le %de la pouzzolane naturelle à 28,56 et 90 jours d'immersion*

D'après la figure III.7 et figure III.8 nous remarquons que la profondeur de pénétration des ions Cl<sup>-</sup>, augmente avec le temps d'immersion et diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle. Et on constate que le MAP à 15% de pouzzolane naturelle résiste mieux à la pénétration des ions Cl<sup>-</sup> que les autres MAP.



**Figure III.8: Relation entre la profondeur de pénétration et le temps d'immersion**  
*Immersion totale*

D'après la figure on remarque que le MAP à 15% de pouzzolane à subi la plus faible pénétration des ions de chlorures par rapport une autres composent .

#### **III.4. Coefficient apparent de diffusion :**

Les figures III.9, III.10 représentent les coefficients apparents des ions chlorure en fonction des différents MAP.

De cette étude on retient que les MAP avec pouzzolane naturelle développent une meilleure résistance à la pénétration aux ions chlorures. Par conséquent ces MAP peuvent être recommandés comme matériaux effectives pour la prévention de la corrosion des armatures dans les différentes structures. Le coefficient apparent de diffusion d'ion chlorure décroît avec le pourcentage de la pouzzolane naturelle.

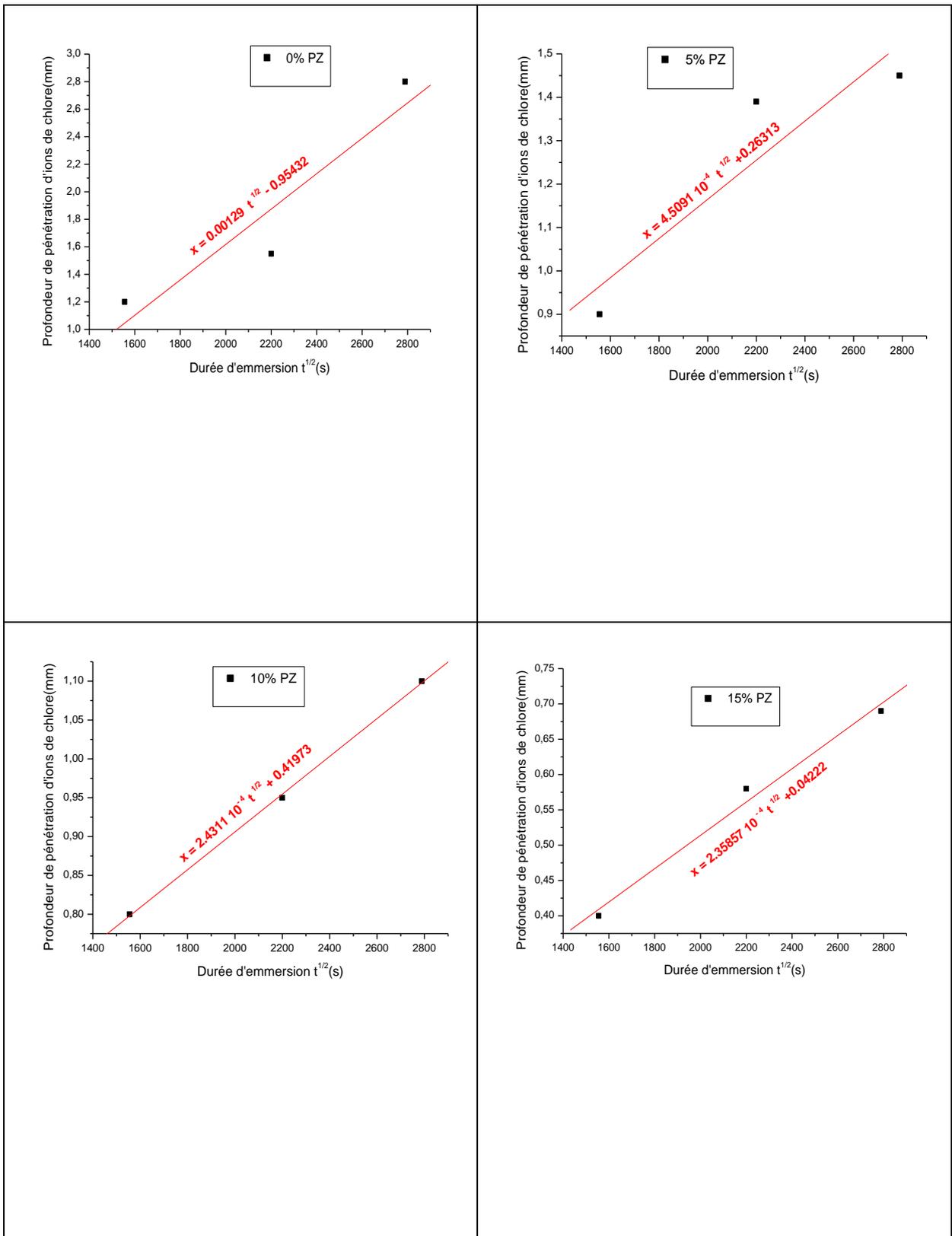
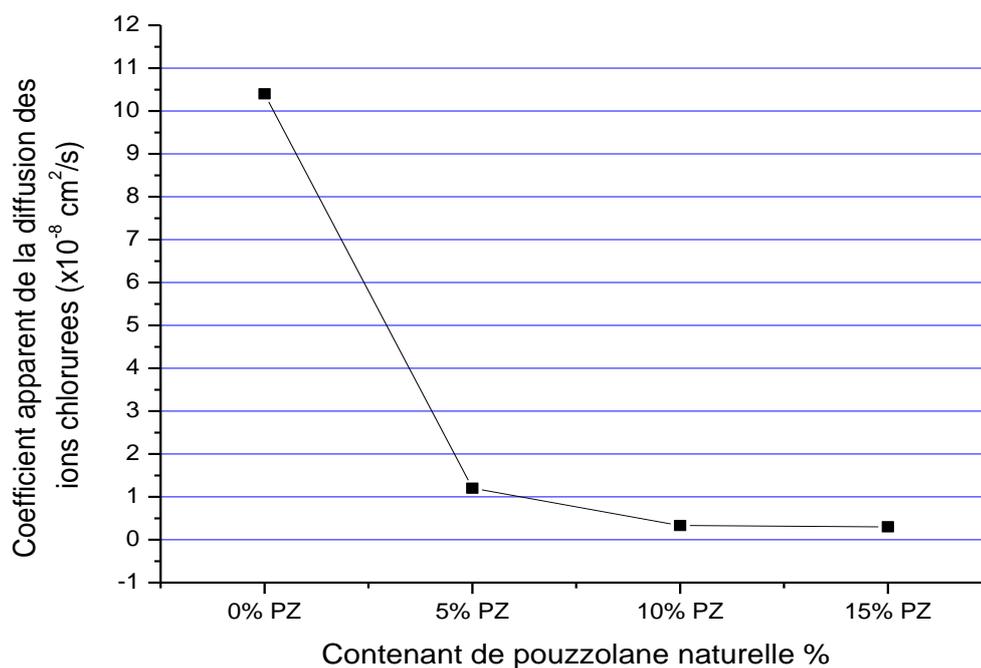


Figure III.9: Coefficient apparent de la diffusion des ions chlore Immersion totale.



**Figure III.10 : Relation entre le coefficient apparent de diffusion des ions  $\text{Cl}^-$  et le % de la pouzzolane naturelle.**

On note que le coefficient apparent de diffusion des ions  $\text{Cl}^-$  et le % de la pouzzolane naturelle de MAP à 15% est plus faible par rapport à une autre composante.

Les valeurs du coefficient apparent de la diffusion d'ions chlorure sont enregistrées dans le tableau ci-dessous :

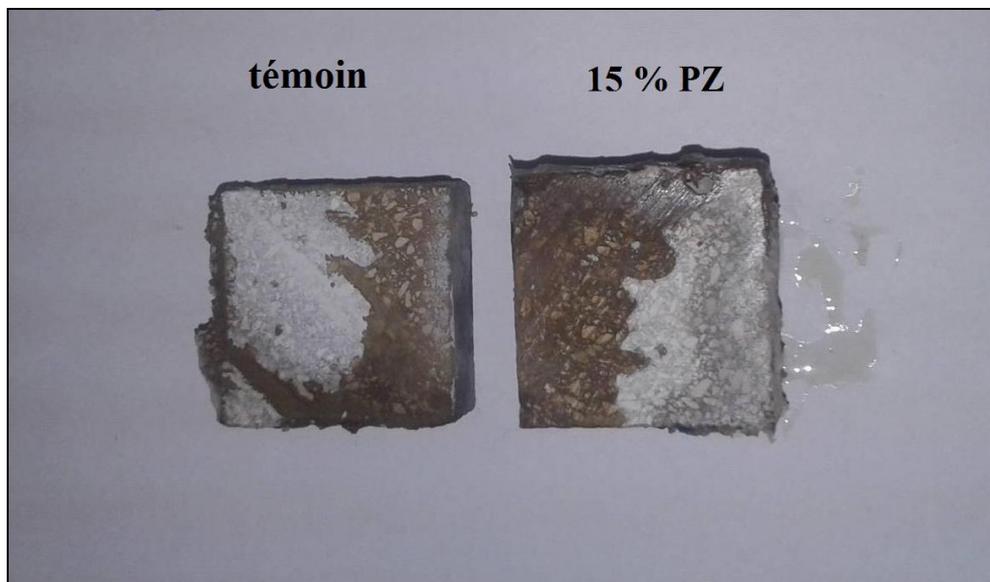
**Tableau III.1 : Valeurs des coefficients apparents de diffusion (Immersion totale).**

Types du MAP	Coefficient apparent de diffusion ( $\text{cm}^2 / \text{s}$ )
MAP 0% PZ	$10,40 \cdot 10^{-8}$
MAP 5% PZ	$1,27 \cdot 10^{-8}$
MAP 10% PZ	$0,369 \cdot 10^{-8}$
MAP 15% PZ	$0,347 \cdot 10^{-8}$

### III.5. Examen visuel



**Figure III.11:** *Comparaison de la profondeur des ions chlore entre MAP 0%PZ et MAP15%PZ En immersion totale à 28jours (De gauche à droite) respectivement.*



**Figure III.12:** *Comparaison de la profondeur des ions chlore entre MAP 0%PZ et MAP15%PZ En immersion totale à 56jours (De gauche à droite) respectivement.*



**Figure III.13: Comparaison de la profondeur des ions chlore entre MAP 0%PZ et MAP15%PZ En immersion totale à 90 jours (De droite à gauche) respectivement.**

Les figures III.9, III.10 représentent les rapports du pouzzolane-ciment en fonction des coefficients apparents de la diffusion des ions chlorures des MAP

. Les coefficients apparents ont été obtenus à partir des pentes des graphes  $x - \sqrt{t}$ , (figure III.9, On constate que les coefficients apparents de la diffusion des ions chlorures des MAP 5%PZ, MAP 10%PZ et MAP 15%PZ sont inférieurs que celui du MAP non modifié MAP 0%PZ suivant la concentration de 5% en NaCl, (en immersion totale)

En général, le coefficient de diffusion apparent tend à diminuer avec l'augmentation du rapport de pouzzolane-ciment. Il est également évident des données ci-dessus que la résistance à la pénétration des ions chlorures des MAP avec pouzzolane est généralement supérieure au MAP non modifié. L'examen visuel figure III.11, III.12 et III.13 confirme les résultats obtenus.

### **III.6. CONCLUSION :**

En peut conclure que :

L'incorporation de la pouzzolane naturelle dans la formulation du mortier autoplaçant a un effet bénéfique sur la durabilité, notamment à ce que concerne la pénétration des ions de chlorure.

La profondeur de pénétration des ions  $Cl^-$ , augmente avec le temps d'immersion et diminue avec l'augmentation des % de pouzzolane naturelle.

Le MAP à 15% de pouzzolane naturelle résiste mieux à la pénétration des ions  $Cl^-$  que les autres MAP.

Le coefficient de diffusion apparent tend à diminuer avec l'augmentation du rapport de pouzzolane-ciment.

Les coefficients apparents de la diffusion des ions chlorures des MAP 5%PZ, MAP 10%PZ et MAP 15%PZ sont inférieurs que celui du MAP non modifié MAP 0%PZ.