

II.1-Introduction

Dans le but de mettre en évidence le comportement d'un MAP à base de pouzzolane naturelle en milieux agressifs , et dans le but de mettre en évidence l'influence de l'ajout de la pouzzolane naturelle de Beni-Saf sur la durabilité du MAP. Nous avons effectué une série d'essais, chimiques, physiques, minéralogiques dans les laboratoires suivants :

- Laboratoire de l'université de Ziane Achour Djelfa.
- Laboratoire des LNHC Djelfa.

Pour l'étude de la résistivité de ces MAP vis-à-vis de différents milieux agressifs, nous avons tenu à garder le même rapport eau/ciment pour toutes les compositions de MAP (Eau/Liant = 0.42).

Les MAP composés sont :

MAP (S 100%N), 100% ciment CEM II/A-L42.5R avec ; 0 % de pouzzolane naturelle

MAP (S 100%N),95% ciment CEM II/A-L42.5R avec ; 5 % de pouzzolane naturelle

MAP (S 100%N),90% ciment CEM II/A-L42.5R avec ; 10 % de pouzzolane naturelle

MAP (S 100%N),85% ciment CEM II/A-L42.5R avec ; 15% de pouzzolane naturelle

Le but de cette substitution est de modifier la composition minéralogique du liant élaboré à base du ciment CEM II/A-L42.5R et la variété de % utilisés nous donne la possibilité de comparer entre les différents composites, ce qui nous permettra d'évaluer l'effet du pourcentage de pouzzolane naturelle sur les caractéristiques de la durabilité et le comportement des MAP dans de différents milieux agressifs.

Les ciments ont subi des essais de caractérisations physiques et chimiques indispensables avant toute étude expérimentale. La plupart des essais de caractérisation des matériaux ont été réalisé conformément aux normes AFNOR, au sein du Laboratoire de l'université de Ziane Achour Djelfa , et Laboratoire des LNHC Djelfa.

II.2-Matériaux utilisés

II.2.1- Ciment

Le ciment utilisé dans tous les essais est un ciment CEM II/A-L42.5R

- La masse volumique apparente = 1080 kg m^3
- La masse volumique absolue = 3150 kg/m^3

Tableau II.1 : Composition minéralogique du ciment

Bruker AXS Microanalysis GmbH, Germany		11/06/2013					
Quantax							
Results		Spectregénéral 1					
Date:		11/06/2013					
Element	series	[wt.%]	[norm. wt.%]	[norm. at.%]	Compound	[wt.%]	[norm. wt.%]
carbone	K-series	4.844558	6.173539	12.81397		4.844558	6.173539
oxygène	K-series	23.14052	29.48853	45.9492		2.6E-15	3.32E-15
nickel	K-series	5.35579	6.825015	2.898965	NiO	6.815741	8.685465
sodium	K-series	0.205698	0.262125	0.284252	Na2O	0.277274	0.353337
magnésium	K-series	0.442405	0.563767	0.578273	MgO	0.733629	0.934881
aluminium	K-series	1.490105	1.898878	1.754522	Al2O3	2.8155	3.58786
silicium	K-series	4.775067	6.084985	5.401395	SiO2	10.21547	13.01782
soufre	K-series	1.577419	2.010144	1.562827		1.577419	2.010144
potassium	K-series	0.59861	0.762823	0.486401	K2O	0.721088	0.9189
calcium	K-series	34.70021	44.21933	27.50646	CaO	48.55276	61.87197
Fer	K-series	1.342567	1.710866	0.763738	Fe2O3	1.919507	2.446075
	Sum:	78.47295	100	100			

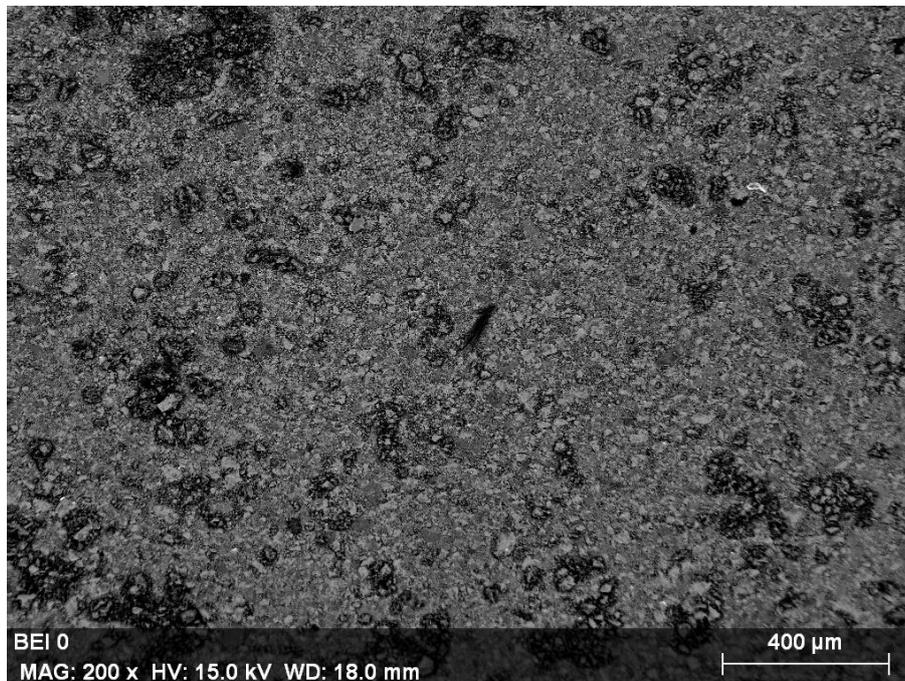


Figure II.1 : Photo MEB du ciment

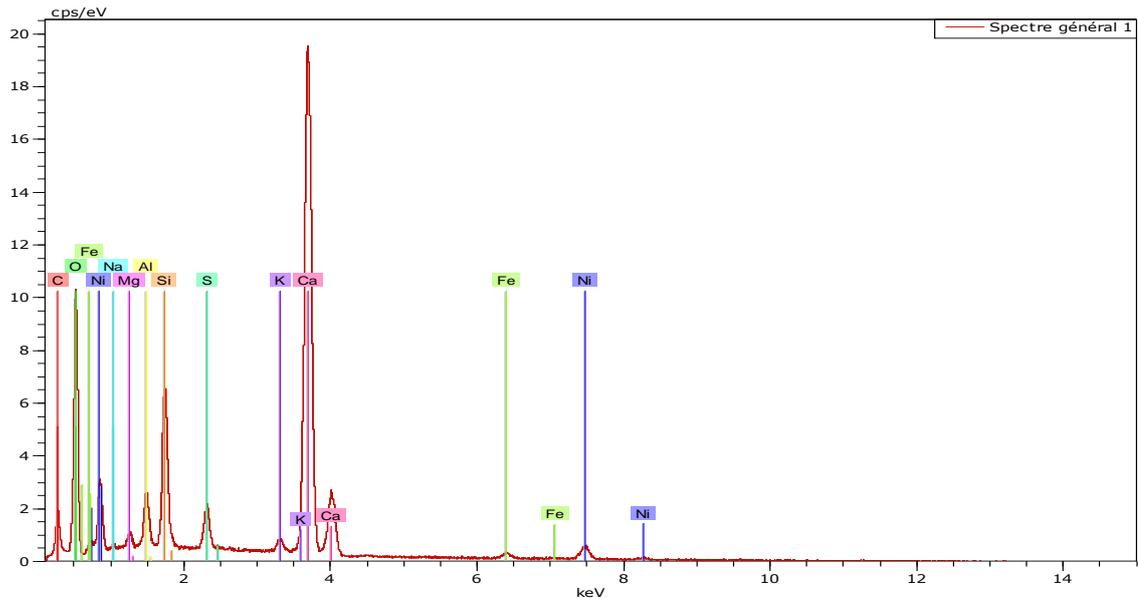


Figure II.2: Spectre DRX du ciment

II.2.2-La pouzzolane naturelle

La pouzzolane naturelle utilisée est d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi situé au sud de Beni-Saf. Le gisement est représenté par une montagne de forme conique appelée El-Kalcoul situé à la côte absolue de 236 m. Cette pouzzolane est essentiellement formée de scories et de pierres ponce bien stratifiées, de couleur variant du rouge au noir.

La pouzzolane naturelle utilisée dans tous les essais est sous forme d'une poudre (figure II.4), résultante de concassage des scories pouzzolaniques (figure II.3) ; les étuvés pendant 24 heures à une température de 50°C afin d'éliminer leur humidité, ensuite les broyées jusqu'à ce que la poudre résultante puisse passer à travers un tamis de mailles 80 μm .



Figure II.3: Scories de la pouzzolane Naturelle de Beni-Saf avant broyage .Naturelle de Beni-Saf après broyage, < 80 μm .

La composition chimique de la pouzzolane naturelle après broyage est montrée dans le tableau II.2.

Tableau II.2:Composition chimique élémentaire de la pouzzolane naturelle de Beni-Saf

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cl	CaCO ₃
12,36	42,95	16,32	9,49	0,01	1,39	3,00	4,20	0,00	10,75

La masse volumique absolue de la pouzzolane naturelle est: $\rho = 2,45 \text{ g/cm}^3$

La surface spécifique de Blaine de la pouzzolane naturelle est: $S_{SB} = 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$

II.2.3- Le sable :

Le sable utilisé dans cette étude c'est le sable de Djelfa, dont Les caractéristiques physiques et les courbes granulométriques sont illustré dans les tableaux et les figures ci-dessous :

Tableau II.3 : Caractéristiques physiques du sable utilisée

Masse volumique	Sable de carrière
Masse volumique absolue [g/cm ³]	2,61
Masse volumique apparente [g/cm ³]	1,84

Tableau II.4 : Coefficient d'absorption d'eau

Coefficient d'absorption d'eau	Sable de carrière
A _b [%]	2

Tableau II.5:Équivalent de sable (visuel)

Équivalent de sable	Sable de carrière
ES [%]	76

Les résultats d'analyse granulométrique du sables utilisé sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau II.6 : Analyse granulométrique de sable de carrière

Ouvertures des Tamis en (mm)	Refus partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en (%)	passant en (%)
5	8,1	8,1	0,81	99,19
2,5	72,1	80,2	8,02	91,98
1,25	325,2	405,4	40,54	59,46
0,63	198,8	604,2	60,42	39,58
0,315	115	719,2	71,92	28,08
0,16	71,3	790,5	79,05	20,95
0,08	44,9	835,4	83,54	16,46
fond	163,9	999,3	99,93	00

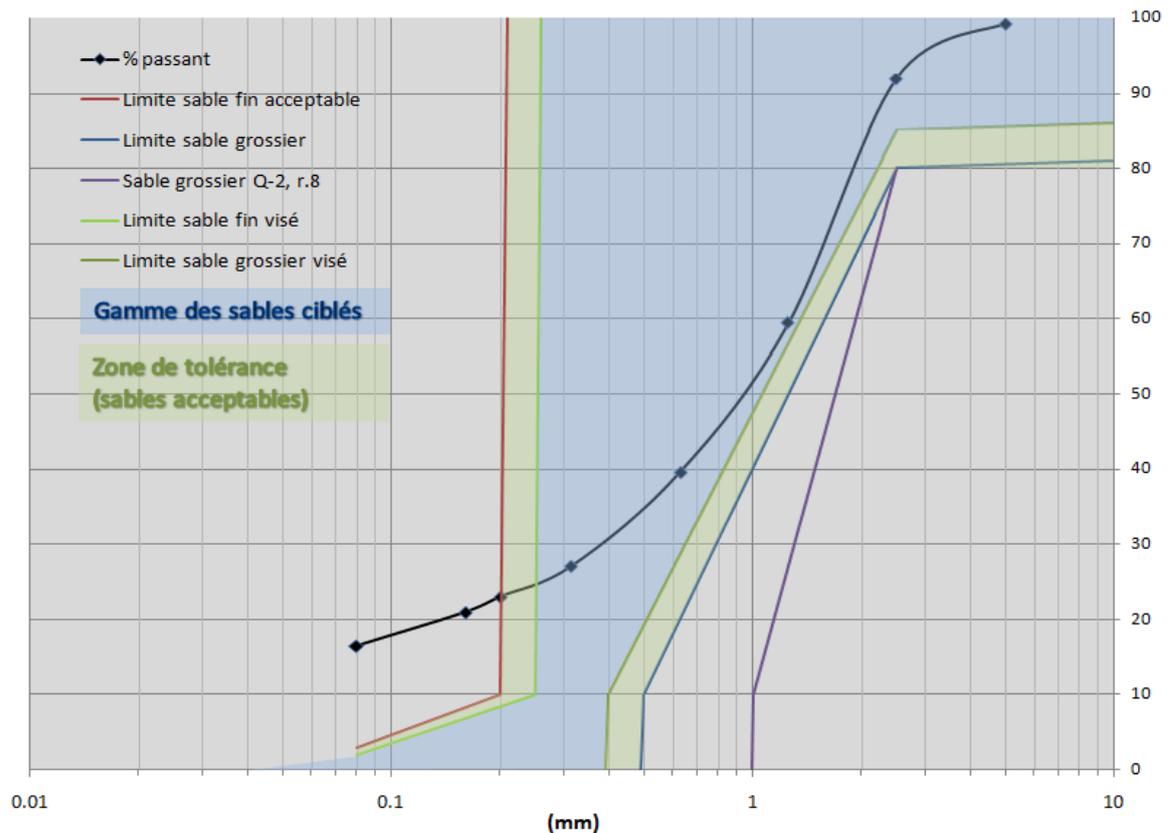


Figure II.5 : Courbes granulométriques de sable de carrière.

Le module de finesse MF selon le norme française (NF 18-540) est défini par :

La somme des pourcentages des refus cumulés ramené à l'unité pour les tamis d'ouverture (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5) en mm.

Dans notre cas : $M_f(\text{sable de carrière}) = (79.05 + 71.92 + 60.42 + 40.54 + 8.02 + 0.81) / 100 = 2.61$

Le sable de carrière utilisé est un sable préférentiel.



Figure II.6: Diamètre de sable de carrière

II.2.4 Eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation du mortier est l'eau de robinet. Sa composition chimique est illustrée dans le tableau II.5:

Tableau II.7: Composition chimique de l'eau de robinet

Composantes chimiques	Mg/L	Meq /L
Calcium (Ca)	52.70	2.64
Magnésium (Mg)	32.00	2.63
Sodium (Na)	/	/
Potassium (K)	/	/
Chlorure (Cl)	71.00	2.00
Sulfates (SO ₄)	115.14	2.35
Carbonates (CO ₃)	Néant	Néant
Bicarbonates (HCO ₃)	170.35	2.80
balance cations	84.95	5.25
Balances anions	357.02	7.20
Conductivité a 25°C		0.72
Résidu sec a 105°C		491
PH		7.5

II.2.5 Super plastifiant:

Le super plastifiant utilisé est un "MEDAFLOW 30" à base de poly carboxylates d'Ether conforme à la norme (EN 934-2. Il est un haut réducteur d'eau de la troisième génération.

Les caractéristiques de ce super plastifiant sont données par le tableau II.6:

Tableau . II.8:Caractéristiques du super plastifiant

Masse volumique	1100 kg/m ³
pH	6- 6.5
Teneur en chlore	<0,1 g/l
Pourcentage d'extrait sec en masse	30 %
Plage du dosage recommandée	0.5 à 2.0 %

II.3- Formulation des MAP:

La formulation que nous avons adoptée est basée sur la formulation proposée par le japonais OKAMURA et appelée la méthode générale, avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable dans le mortier, le rapport eau/liant ainsi que le rapport super plastifiant/liant. Ces derniers ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs de l'étalement au cône d'Abrams et du temps d'écoulement au V-Funnel acceptables. Pour la sélection des quantités d'air et de graviers, la méthode OKAMURA a été maintenue.

Tableau II.9:Composition du MAP dans 1m³

Composants	C 100% et pz 0%	C 95% et pz 5%	C 90% et pz 10%	C 85% et pz 15%
Ciment (Kg)	696.9	656.4	616.5	577.19
Eau (L)	278.8	278.8	278.8	278.8
Pouzzolane (Kg)	0	34.55	68.5	101.8
Sable de carrière (Kg)	1325	1325	1325	1325
Sp (%)	0.9	0.9	0.9	0.9
Rapport E/C	0.42	0.42	0.42	0.42

II.3.1- Préparation des MAP:

On a préparé les MAP avec les procédures de malaxage suivant [30]

II.3.2-Séquence de malaxage du mortier autoplaçant :

- On place (le sable+ ciment) dans le malaxeur et on malaxe pendant 30 seconds.
- On ajoute 2/3 de la quantité d'eau, avec malaxeur en marche , pendant 60 seconds
- On ajoute l'eau restante avec le super plastifiant pendant 60 seconds
- On continue le malaxage pendant cinq minutes de façon à homogénéiser le mortier
- On arrête le malaxage pendant deux minutes de repos.
- Malaxage pendant 30 seconds
- A la fin un léger malaxage est fait manuellement.

Les différentes éprouvettes de mortier préparées, sont conservées en salle humide (20°C, 95% HR) pendant 24 heures. Après démoulage, les éprouvettes de mortier obtenues sont conservées dans l'eau du robinet pendant 28 jours.

II.4-Méthodes d'Essais :

II.4.1- Essai de durabilité

II.4.1 .1. Attaque par les chlorures

L'attaque par les chlorures se distingue par le fait qu'elle entraîne la corrosion des armatures et que seulement ensuite, comme conséquence de ce phénomène, le béton environnant est dégradé. La corrosion des armatures est l'une des causes principales de la détérioration des structures en béton armé partout à travers le monde. Le sujet de la corrosion de l'acier noyé dans le béton dépasse toutefois le cadre du présent mémoire et on limitera à l'étude à l'examen des propriétés du mortier influençant la corrosion, en mettant l'accent sur le transfert des chlorures.

On distingue:

II.4.1.2 Essai d'immersion totale (Full Immersion Test) (FIT)

Pour cette essai, les faces latérales et la face du dessus des échantillons sont recouvertes par de la résine époxy pour rendre les facettes imperméable ainsi la pénétration des ions chlorure ne se fait que dans un seul sens selon la face (de dessous) figure II.7.



Figure II.7: Schéma du principe de fonctionnement de l'essai de perméabilité aux ions chlore.

Ensuite les échantillons sont introduit dans une solution de NaCl concentré à 5%, Figures II.8.

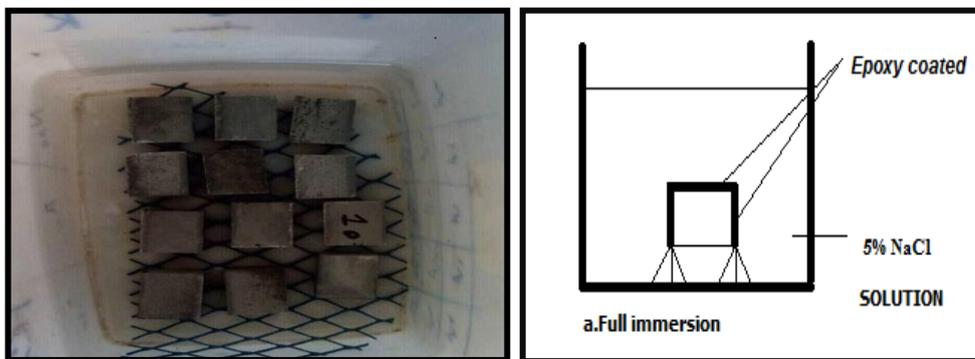


Figure II.8 : Immersion totale des échantillons dans une solution de 5% NaCl.

II.4.1.3. Application de la 2^{ème} loi de Fick :

Pour évaluer la durabilité de mortier MAP vis-à-vis de la pénétration des ions chlorures et mettre en relief l'effet de la pouzzolane sur la résistance par rapport à cette pénétration, nous avons suivi l'évolution de la profondeur de pénétration des ions chlorures à 28,56 et 90 jours. Les solutions n'ont été pas changées jusqu'à la fin.

A chaque essai l'éprouvette sera coupée en deux le long de la face perméable c'est-à-dire suivant le flux de la diffusion des chlorures figure II.10, après un séchage de 24h à l'air libre Figure II.9.

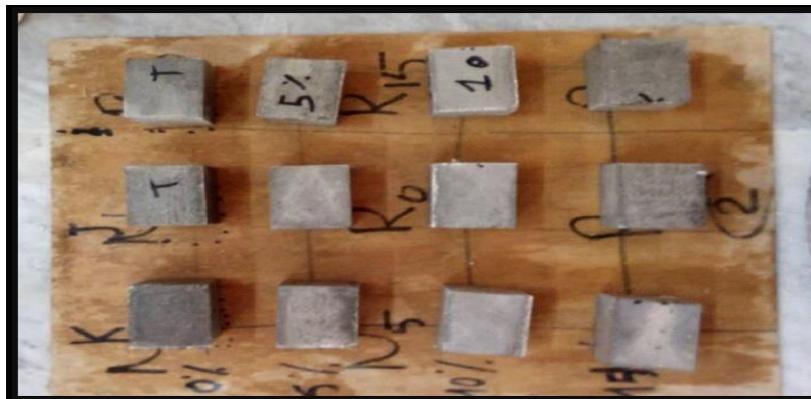


Figure II.9: Séchage de 24h des échantillons après 28, 56 et 90 jours d'immersion (totale).



Figure II.10: Coupe de l'éprouvette en deux après 28,56 et 90 jours d'immersion (totale).

Puis on verse sur chaque section coupée une solution de nitrate d'argent 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. Cette profondeur est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse sur plusieurs positions figure II.11, figure II.12

La profondeur de pénétration (X) est la moyenne de toutes les lectures (A, B, C, D, E, F).

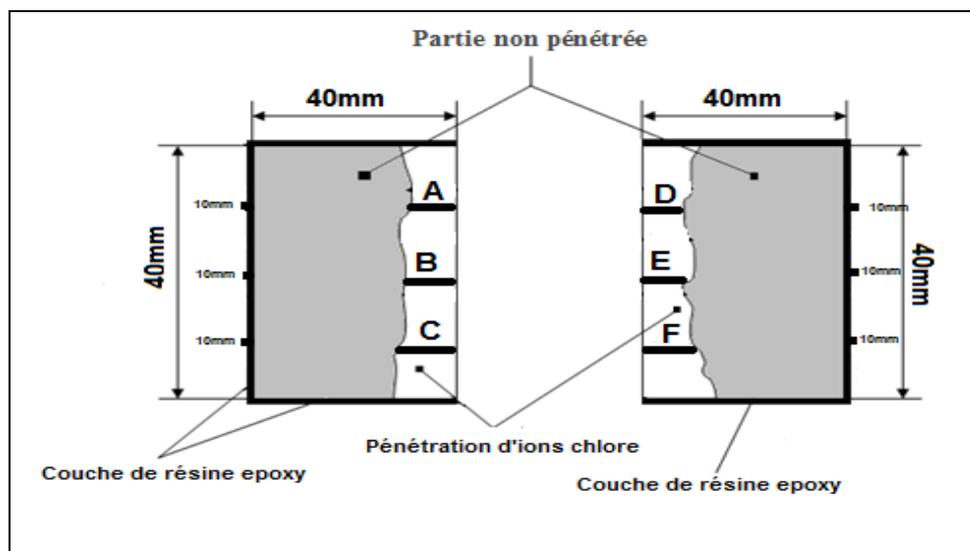


Figure II.11: Coupes schématiques de l'échantillon pour mesurer de la profondeur de pénétration d'ion chlore



Figure II.12: Mesure de la profondeur de pénétration d'ion chlore

II.5. CONCLUSION :

La conclusion qu'en peut tirer si que tous les matériaux utilisés ont des caractéristiques admissibles ce qui permis leurs incorporations dans la formulation du béton ou mortier sans aucuns soucis.