



Comportement des mortiers composites à bases des SCMs dans les milieux acides (Behavior of composite mortars based on SCMs in acidic media)

B. Belbachir^{1,2}, A.S. Benosman^{1,2,3*}, H. Taïbi¹, M. Mouli², Y. Senhadji^{2,4}, M. Belbachir¹

¹Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran 1, Ahmed Benbella, BP 1524, El Mnaouer, Oran 31000; Algérie.

²Département de Génie Civil, Laboratoire des Matériaux LABMAT, ENPO Oran 31000, Algérie.

³Département de Chimie, Ecole Préparatoire en Sciences et techniques, EPST Tlemcen, Algérie.

⁴Faculté des Sciences Techniques, Université Mustapha Stambouli, Mascara, Algérie.

*Corresponding Author. E-mail: amre20022000@yahoo.fr; Tel: (+213554068440)

Abstract

Supplementary cementing materials (SCMs) are commonly used in composite-based repair mortars as substituent of part of the clinker in cement or part of cement in the composite. This is beneficial to industry as it usually gives a low cost composite mortar, and has a low environmental impact. It leads to the improvement of long-term durability with sustainable development. In order to improve the durability of composite-based repair mortars containing SCMs, the impact of adding the soluble polymer (latex) on the characteristics of these mortars was assessed in aggressive environments, such as acids. Mortars with pozzolanic mineral bases, containing different latex ratios, i.e. 0.5%, 1% and 2%^w, are kept in acidic solutions for various immersion periods. Analysis of the microstructure of mortars, after exposure to acid attack, is done by various analytical methods. The results obtained allow highlighting the beneficial effect of adding latex and pozzolanic additions SCMs on the modified materials as well as on the resistance to acid attack. The results obtained are promising outcomes that require a particular interest that could open up prospects for sustainable development in the future.

Keywords: SCMs, Pozzolana, Silica fume, Polymer, Sustainable development, Sustainability.

Résumé

Les matériaux cimentaires supplémentaires (SCMs) sont couramment utilisés dans le mortier composite de réparation en tant que substituant d'une partie du clinker dans le ciment ou substituant d'une partie du ciment dans le composite. Cette pratique est favorable à l'industrie, donnant généralement un mortier composite à faible coût, et à faible impact environnemental, avec l'amélioration de la durabilité à long terme et un développement durable. En vue d'améliorer la durabilité des mortiers composites de réparation à base des SCMs, on a évalué l'influence de l'ajout du polymère soluble (latex) sur les caractéristiques de ces derniers vis-à-vis des milieux agressifs tels que les acides. Des mortiers avec des bases minérales pouzzolaniques et contenant différents taux de latex 0.5%, 1% et 2%^w sont conservés dans les solutions acides pour diverses périodes d'immersion. L'analyse de la microstructure des mortiers après exposition à l'attaque acide est effectuée par différentes méthodes d'analyses. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence l'effet bénéfique de l'ajout du latex et des additions pouzzolaniques SCMs dans les matériaux modifiés et sur la résistance aux attaques acides. Or, des aboutissements prometteurs ont été révélés nécessitant ainsi un intérêt particulier qui ouvre des perspectives pour un développement durable dans l'avenir.

Mots clés: SCMs, Pouzzolane, Fumée de silice, Polymère, Développement durable, Durabilité.

1. Introduction

Le ciment est un matériau de base pour la construction, majoritairement utilisé dans le monde. Cependant, la fabrication de ce dernier dégage une quantité importante de dioxyde de carbone (CO₂) bien connu pour son incidence sur l'effet de serre. Il provient de deux sources complémentaires : la dépense d'énergie liée à la

nécessité de produire de très hautes températures pour réaliser le processus physico-chimique ; et le phénomène de transformation du calcaire sous l'effet de la température en chaux et en CO₂. L'émission mondiale de CO₂ de l'industrie cimentière est estimée à 375 millions de tonnes en 2007 soit 7% des émissions mondiales de CO₂ [1]. Pour palier à ce problème, il est nécessaire de substituer partiellement le clinker dans le ciment Portland par des additions minérales SCMs tels que la pouzzolane naturelle [2], le métakaolin [3] et les déchets industriels telles que la fumée de silice et les cendres volantes [4, 5]. Ces additions minérales présentent une certaine activité chimique dite "pouzzolanique" qui leur permet de réagir avec la chaux pour former des composés semblables aux hydrates du ciment. En plus de la protection de l'environnement par la réduction de l'émission de CO₂, l'utilisation des SCMs dans le ciment offre plusieurs autres avantages. D'abord, un avantage économique dû à la substitution d'une partie du ciment Portland qui est couteux, par de la pouzzolane naturelle ou des déchets industriels moins couteux. Ensuite, ces matériaux SCMs contribuent à l'amélioration des performances mécaniques et la durabilité des bétons et mortiers grâce au développement de l'activité pouzzolanique [2, 4, 6]. Ces effets bénéfiques ouvrent donc la possibilité de transformation de large quantité de déchets industriels en matériaux de construction durables et à cout compétitif [7].

En plus de l'effet des additions des SCMs dans les mortiers pouzzolaniques, il ya l'influence des polymères latex ajoutés dans un mortier composite et qui sont appelés des mortiers modifiés par les polymères. Ils sont obtenus en mélangeant soit un polymère dispersif, soit une poudre redispersable, soit un polymère soluble dans l'eau, soit un polymère sous forme liquide introduit dans la pâte fraîche [8]. Lorsque le mortier contenant un latex est mélangé avec l'eau, l'hydratation du ciment se fait en même temps que la formation d'une phase pure de polymère correspondant à la coalescence des particules de polymère au moment de l'appauvrissement en eau de la matrice cimentaire. Il se forme aussi une comatrice ciment-polymère formant un réseau où les deux phases s'interpénètrent et se lient ainsi aux granulats [9].

Le but de ce travail est de présenter les résultats d'une première étude expérimentale portant sur la durabilité du double effet des mortiers modifiés par ajout de polymère "Tekweld" et qui contiennent des SCMs, telles que la pouzzolane et la fumée de silice, comme substituant au ciment (d'où un ciment ternaire) et ceci pour la réalisation des mortiers composites de réparation conçus au développement durable. Certaines proportions clés sont également étudiées, contrairement à ce qui a été entrepris dans les travaux antérieurs [2,4,10-14] afin de déterminer les limites de faisabilité. Un complément d'information sur la microstructure a été effectué par la DRX.

2. Matériaux Utilisés

2.1 Le ciment "CM"

Il s'agit d'un ciment Mâtine conforme à la norme NA442-2000 (Norme Algérienne NA442-2000) provenant de l'usine CIBA du groupe LAFARGE sise à OGGAZ (Mascara /Algérie). Ce ciment a une finesse de 4220 cm²/g, de densité absolue 3.09 et d'une résistance à la compression de 48 MPa à 28 jours. Les compositions chimiques du ciment et minéralogiques de son clinker sont données dans les tableaux 1 et 2.

Tableau1: Composition chimique élémentaire du ciment, la pouzzolane et la fumée de silice.

Elt.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI
CM	17.954	4.071	2.750	58.15	1.768	2.428	0.661	0.205	0.107	0.223	10.720
P	46.101	16.442	9.140	9.057	5.341	0.059	1.338	2.257	0.729	2.062	7.110
S	94.609	0.320	1.212	0.434	0.385	0.104	0.527	0.113	0.010	0.024	1.980

Tableau 2: Composition minéralogique du clinker (%).

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
64	15	8	12.16

2.2 La pouzzolane "P"

Le matériau cimentaire supplémentaire utilisé pour cette étude est la pouzzolane naturelle, qui est une larve rougeâtre extraite du gisement de Bouhamidi région Béni-saf (Nord-ouest de l'Algérie). Elle a une masse volumique absolue mesurée au pycnomètre de 2670 Kg/m³. Après séchage à 105°C afin d'éliminer l'eau libre, la pouzzolane est broyée ensuite tamisée à travers un tamis de 80 µm, la poudre résultante donne une surface spécifique de 300 m²/Kg. Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau 1.

2.3 La fumée de silice "S"

La fumée de silice, comme poudre amorphe de silice extrêmement fine, est un sous produit de la fabrication du silicium ou des silico-alliages. Compte tenu de la très grande finesse de cette addition, elle est utilisée en ayant un effet accélérateur sur l'hydratation du ciment portland. L'addition qu'on a utilisée dans nos essais, est fournie par l'entreprise TECKNACHEM (Sidi Bel-Abbes / Algérie). Sa composition chimique est donnée dans le tableau 1.

2.4 Le polymère latex "T_k"

Le polymère latex utilisé pour la modification de nos mortiers, se présente sous forme de dispersion aqueuse de couleur blanche laiteuse, nommé TEKWELD fourni par l'entreprise TECKNACHEM, à haute densité, stable en milieu alcalin. Ce polymère est ajouté à l'eau de gâchage du mortier de ciment. Les principales caractéristiques du T_k utilisé sont données dans le tableau 3.

Tableau 3: Caractéristiques du polymère T_k utilisé.

Caractéristiques	Forme	Couleur	Densité	pH
Polymère T _k	Liquide	Blanc laiteux	1.05±0.01	6

2.5 Le sable

C'est un sable concassé de fraction 0/5 provenant de la carrière de Nedroma (nord-ouest /Algérie). Afin d'avoir une granulométrie conforme au fuseau du sable normalisé, on a procédé à une correction granulaire de ce sable par un sable marin originaire de Tergua (Ain-témouchent /Algérie). Le sable corrigé est 60% sable de carrière, 40% sable de mer.

3. Méthodes d'essais

Les mortiers composites modifiés par ajout de polymère, ont été réalisés à base d'additions minérales (10% de pouzzolane et 5% de fumée de silice), avec des teneurs en T_k différentes, tel que : P/C = 0, 0.5 et 2 %. Les rapports pondéraux utilisés expérimentalement sont (ciment /sable)= 1/3 et (eau/ciment)= 0.5 constant pour tous les mortiers. On a utilisé un adjuvant superplastifiant (SP) réducteur d'eau type SIKA[®] Viscocrète[®] tempo 12 (Tableau 4).

Les échantillons d'essais ont été confectionnés selon la norme NF P15-403 [15] dans des moules prismatiques (4x4x16 cm³) et vibrés à l'aide d'une table à choc (NF EN 196-1 [16]). Les moules contenant les spécimens sont couverts de film de plastique et conservés dans l'environnement du laboratoire sous une T°C de 20± 1°C et une humidité relative d'environ 50 ± 5 %.

Tableau 4: Formulations des différents mortiers composites étudiés

Code	Ciment (%)	SCMs (%)		T _k (%)	E/C	SP (%)
		P	S			
Ref. (0,0,0)	100	-	-	-	0.5	1.3
P ₁₀ (10,0,0)	90	10	-	-	0.5	1.3
S ₅ (0,5,0)	95	-	5	-	0.5	1.3
P ₁₀ S ₅ (10,5,0)	85	10	5	-	0.5	1.3
P ₁₀ S ₅ T _{k0.5} (10,5,0.5)	85	10	5	0.5	0.5	1.3
P ₁₀ S ₅ T _{k2} (10,5,2)	85	10	5	2	0.5	1.3

Ref: Mortier de Référence; P: Pouzzolane; S: Fumée de silice; T_k: Tekweld; SP: Superplastifiant.

Le démoulage est effectué après 24 heures et les échantillons sont conservés dans une eau basique (solution saturée en chaux) durant 24 heures. Ensuite, les spécimens sont retirés de cette eau et conservés jusqu'aux 60 jours dans une salle de conservation à T°C et hygrométrie (20±1°C, HR= 50±5 % ; milieu témoin). Les échantillons dont les dimensions prismatiques 40x40x50 mm³, sont pesés pour déterminer Mo, puis ils sont immergés dans deux différentes solutions acides suivantes : solution d'acide chlorhydrique, HCl à 8% et la solution d'acide acétique, CH₃COOH à 8%. Le choix s'est porté sur ces deux acides car il s'agit des acides majoritaires trouvés dans les zones industrielles et agricoles.

La résistance des échantillons immergés vis-à-vis des attaques chimiques acides, est déterminée selon la norme ASTM C267-01 [17]. Des analyses DRX ont été effectuées pour les croutes des échantillons immergés et soumis à l'attaque acide.

4. Résultats & Discussion

4.1 Attaque par l'acide chlorhydrique (HCl)

La Figure 1 exhibe les résultats des pertes de masses pour les spécimens exposés à une solution d'acide HCl à 8%. Ces spécimens n'ont pas la même tendance de détérioration, particulièrement avec le mortier (P₁₀) et le composite avec polymère (P₁₀S₅T_{k2}). Après une semaine, la différence devient tout à fait perceptible, elle est supérieure à 35%.

Après 6 semaines, on constate une perte de masse permanente pour l'ensemble des mortiers. En comparant ces composites, on observe que le P₁₀ présentait une perte de masse très importante, elle est de 50%. Tandis que le composite modifié (P₁₀S₅T_{k2}) avec un taux de 2% de polymère, comparé aux autres composites, présente une grande aptitude à résister à l'attaque acide, avec une perte de masse de 15%.

A partir de ces résultats, on remarque l'effet bénéfique de l'incorporation mixte des SCMs et du polymère, ce qui minimise la pénétration des agents agressifs. On a par conséquence résistance et durabilité accrues.

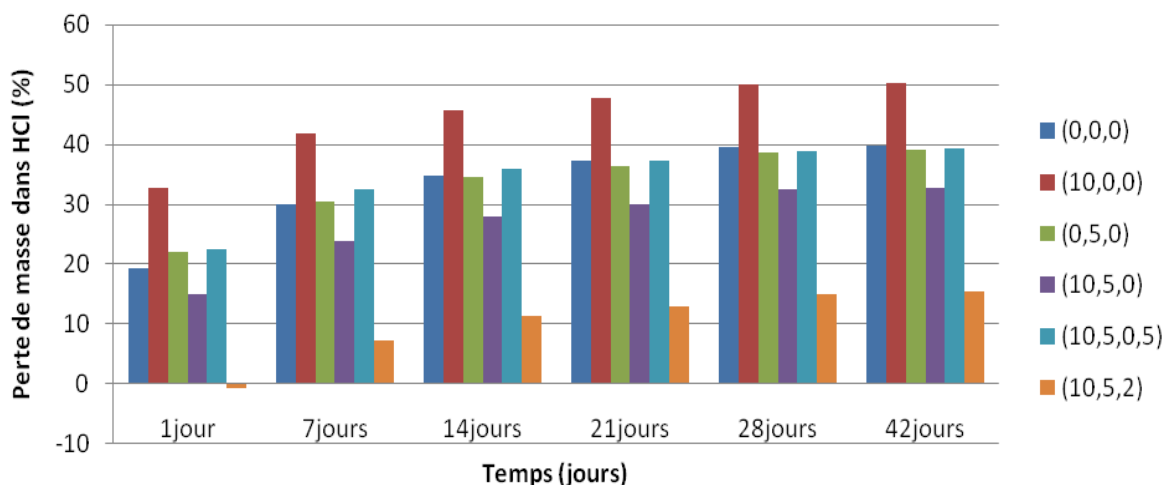


Figure 1: Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans 8% HCl.

4.2 Attaque par l'acide acétique (CH₃COOH)

Les résultats de la perte de masse des spécimens exposés à la solution d'acide acétique à 8%, pour une durée de 1 à 11 semaines, sont montrés dans la Figure 2.

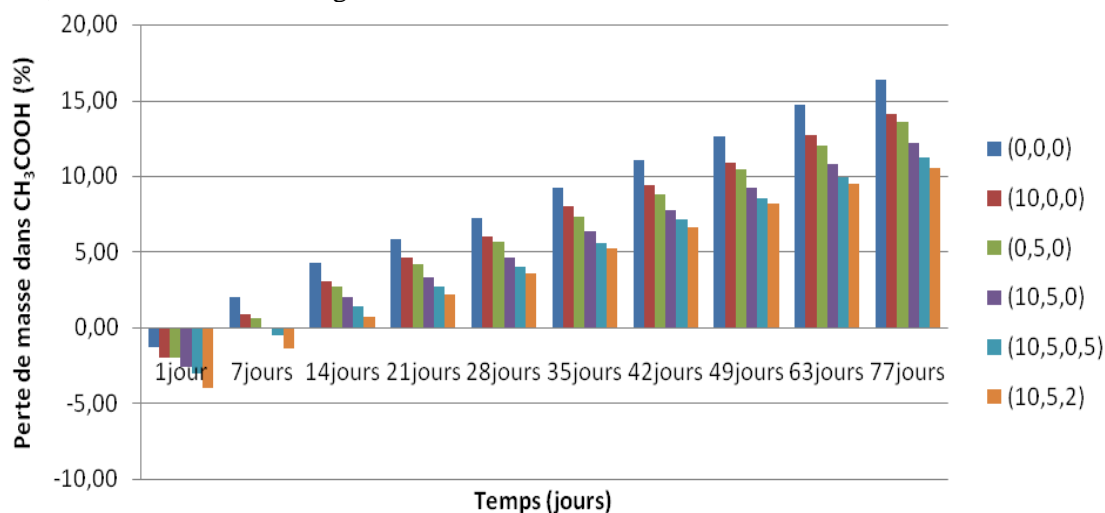


Figure 2: Variation de la masse en fonction de la période d'immersion dans 8% CH₃COOH.

A partir de ces résultats, on observe une perte de masse continue légèrement pour tous les mortiers composites à partir de la 2^{ème} semaine.

Après 2 semaines, on constate une légère différence de tendance de détérioration, particulièrement avec le composite témoin (Réf.) et le composite (P₁₀S₅T_{k2}) (inferieure à 4%).

Après 4 semaines à 11 semaines, le composite de référence présente la grande perte de masse comparé aux autres. On note une perte de masse de 16% pour le composite témoin (Réf.) et de 10% pour les composites avec ajout de polymère. Dans cette attaque par l'acide acétique, les spécimens exposés présentent une résistance chimique meilleure, et la réduction de la masse est due à la dissolution des hydrates produits qui mènent à des mortiers poreux. Cependant, l'addition des SMCs et l'incorporation des ajouts organiques (polymère) augmentent la résistance chimique des composites vis-à-vis des attaques acides.

La Figure 3 montre l'effet de l'attaque acide sur les différents mortiers composites. Après 28 jours d'immersion, on remarque pour l'ensemble des spécimens, que les pertes en masse dues à l'acide chlorhydrique sont supérieures à celles dues à l'acide acétique.

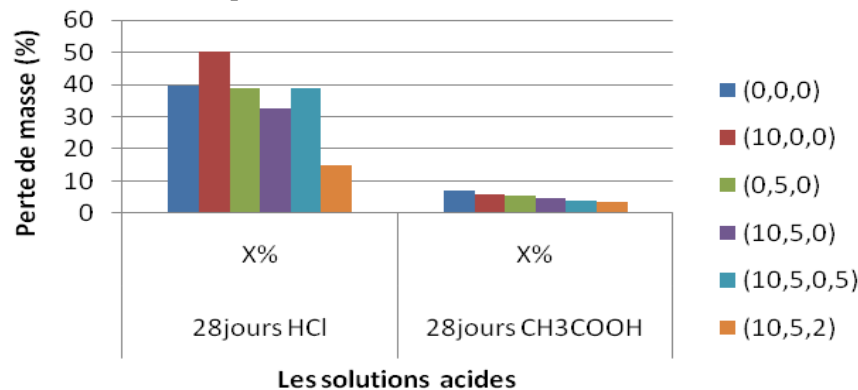


Figure 3: Variation de la perte en masse après 28 jours d'immersion dans les différentes solutions d'acides des mortiers composites

Si on compare les résultats des pertes en masses des mortiers composites immergés en solution d'acide acétique CH₃COOH, par rapport aux autres résultats, on constate que la perte de masse due à l'acide acétique est égale à environ un cinquième de la perte en masse due à la solution de l'acide chlorhydrique, pour la même concentration de 8 % (Figure 3).

Avec l'acide acétique, il y a formation d'acétate de calcium Ca(CH₃COO)₂.H₂O (hydrate) sous forme spongieuse tandis qu'avec l'acide chlorhydrique, la surface du mortier est recouverte de chlorure de calcium CaCl₂.4H₂O (dihydrate) et d'hydroxyde de fer [18]. Les résistances mécaniques sont plus ou moins affectées par la concentration mais aussi et surtout par la nature des acides avec dans l'ordre le plus agressif d'après cette étude : l'acide HCl puis l'acide acétique CH₃COOH (Figure 3). On propose pour cela la séquence suivante : HCl > CH₃COOH.

Donc on peut conclure que le composite (P₁₀S₅T_{k2}) a bien résisté aux attaques acides. L'influence positive du pourcentage des SCMs et du latex T_k sur la résistance chimique est traduite d'une part, par la réaction pouzzolanique qui fixe la portlandite libérée lors de l'hydratation du ciment pour former des gels de CSH supplémentaires de 2^{ème} génération et donc l'accroissement de la compacité des hydrates, engendrant une réduction de la porosité et d'autre part, par la formation du film du polymère T_k. Ce qui réduit la pénétration des agents agressifs.

4.3 L'examen visuel

L'inspection visuelle montre clairement l'état des différents spécimens avant et après l'attaque acide, 11 semaines d'immersion dans CH₃COOH et 6 semaines dans HCl à 8% (Figure 4).

Dans l'acide chlorhydrique:

- ✓ Les échantillons ne montrent pas une perte remarquable de leur forme, ils gardent toujours leur forme cubique. L'échantillon de mortier témoin Ref. a un aspect plus dégradé (plus que la moitié) comparativement au composite P₁₀S₅T_{k2}.
- ✓ La surface des mortiers est très décapée avec un déchaussement important des grains de sable.
- ✓ La solubilité du sel formé (chlorure de calcium) après réaction de l'acide HCl avec la portlandite Ca(OH)₂ libérée lors de l'hydratation du ciment et à sa grande lixiviation à l'extérieur avec décalcification progressive des C-S-H, engendrent ainsi des pertes de masse importantes.
- ✓ La surface est recouverte d'une mince couche de rouille de couleur jaunâtre différente par rapport à la couleur initiale de la matrice cimentaire et qui semble due à la présence d'hydroxyde de fer Fe₂O₃ mal cristallisé [19].

Dans l'acide acétique:

- ✓ Réduction peu importante du volume de l'échantillon de mortier témoin; par contre le composite $P_{10}S_5T_{k2}$ marque une résistance considérable traduite par son aspect.

En général, les surfaces du mortier témoin et $P_{10}S_5T_{k2}$ sont plus découpées dans l'acide HCl que dans l'acide CH_3COOH avec un déchaussement important pour le mortier Ref. Les mécanismes de dégradation dus à l'attaque des deux acides sont différents (le taux d'agressivité de HCl est supérieur à celui du CH_3COOH). Ces observations ont permis de confirmer les résultats obtenus par les essais de pertes de masse (Figures 1-3).

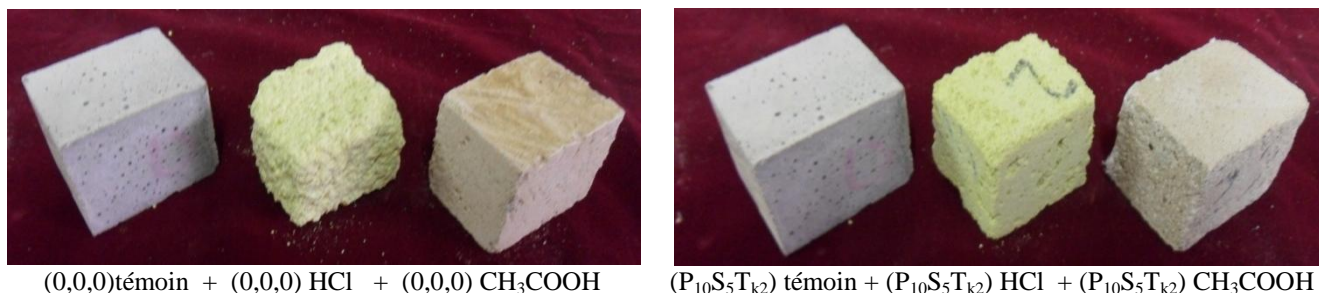


Figure 4: Etat des éprouvettes avant et après immersion dans les milieux: témoin, HCl et CH_3COOH .

Cette étude montre que le polymère T_k a un effet supplémentaire sur le comportement des matériaux composites. En général, les composites contenant du T_k et à base d'addition SCMs développent une résistance différente à celle du mortier contrôle contre les divers attaques chimiques (Figure 4). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Rossignolo et al. [20] et Monteny et al. [21].

4.4 Caractérisation par DRX

La Figure 5 exhibe les analyses DRX réalisées sur les mortiers témoins (Ref.) et composites ($P_{10}S_5T_{k2}$) avant et après attaque par les acides HCl et CH_3COOH . La superposition des différents spectres confirme:

- La formation de trace du chlorure de calcium (46.08g/100ml dans H_2O) et d'acétate de calcium (52.0 g/100ml dans H_2O) après l'attaque par les acides HCl et CH_3COOH , respectivement, selon les réactions chimiques présentées par Benosman et al. [22] ;
- La décomposition totale de la portlandite par la solution agressive, d'où la disparition de son pic majeur à $2\theta=18^\circ-18.1^\circ$;
- La consommation totale de la calcite $CaCO_3$ par les différentes attaques acides (disparition de son pic majeur à $29.41^\circ 2\theta$) ;
- La présence du quartz SiO_2 : provenant du sable utilisé de nature silico-calcaire.

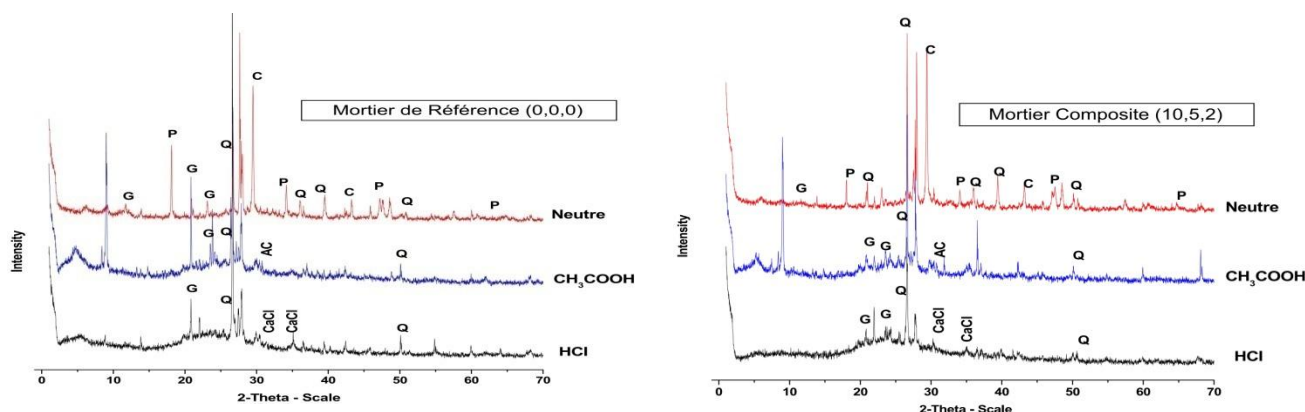


Figure 5: Spectres DRX des mortiers dans les différents milieux : neutre et acides; P – $Ca(OH)_2$, G – gypse, C – calcite, Q – quartz, CaCl – $CaCl_2 \cdot 4H_2O$, AC – $Ca(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$.

Conclusion

Les mortiers composites à base des SCMs étudiés en milieu acide sont composés de ciment contenant des proportions de 10% en pouzzolane et/ou 5% en fumée de silice en substitution et aussi des proportions croissantes de polymère T_k (0%, 0.5% & 2%^m). Les résultats menés à travers cette étude permettent de voir :

- L'effet bénéfique de l'ajout du polymère latex T_k comme addition au ciment ternaire sur la durabilité des composites, à savoir le composite $P_{10}S_5T_{k2}$. Ceci est due à la combinaison des deux effets positifs des

additions minérales et de l'ajout du T_k . Donc on a la formation du gel CSH de 2^{ème} génération par réaction pouzzolanique et la formation du film du polymère T_k , respectivement.

- La perte en poids des mortiers non modifiés immergés dans HCl ou CH_3COOH à 8% est supérieure à celles des composites mortier-polymère à base des SCMs. La réduction des poids est due à la dissolution des hydrates formés qui mènent à des mortiers poreux.
- L'utilisation du T_k améliore la résistance chimique des mortiers composites à bases des SCMs vis-à-vis de l'attaque par les différents acides. Les résistances chimiques sont plus ou moins affectées par la concentration et par la nature des acides par ordre d'agressivité. On propose pour cela la séquence suivante: $HCl > CH_3COOH$.
- L'identification des phases cristallines formées dans les mortiers de réparation avant et après attaque chimique ont été suivies par DRX.

Remerciements - Ce travail a été effectué avec l'apport financier du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique de l'Algérie, sous les subventions du projet CNEPRU E01820120116. Les auteurs tiennent à remercier Mr A. Addou pour la réalisation des spectres DRX. Nos plus vifs remerciements vont aussi à Mr M.T. GOUASMI et Mr O. HASNAOUI Directeur général du Groupe des Sociétés HASNAOUI, La TEKNACHEM Algérie.

References

1. Emad B., Gholamreza Z., Ezzatollah S., Alireza B., *J. Clean. Prod.* 51 (2013) 142.
2. Senhadji Y., Escadeillas G., Khelafi H., Mouli M., Benosman A.S., *Eur. J. Environ. Civ. En.* 16(1) (2012) 77.
3. Li Z., Ding Z., *Cem. Concr. Res.* 33(4) (2003) 579.
4. Senhadji Y., Escadeillas G., Mouli M., Khelafi H., Benosman A.S., *Powder Technol.* 254 (2014)314.
5. Zhao H., Sun W., Wu X., Gao B., *J. Clean. Prod.* 95 (2015) 66.
6. Cheriaf M., Cavalcante J., Pera R. J., *Cem. Concr. Res.* 29 (1999) 1387.
7. Asokan P., Mohini S., Asolekar S.R., *Resour. Conserv. Recy.* pp. 43 (2005) 239.
8. Ohama Y. *Handbook of polymer-modified concretes and mortars*. Noyes Publications : USA, (1995) 236.
9. Ohama Y. Polymer based admixtures. *Cem. Concr. Compos.* 20 (1998) 189.
10. Ghrici M., Kenai S., Said-Mansour M., Kadri E-H., *J. Asian Archit. Build. Eng.* 5(2) (2006) 349.
11. Benosman S., Latroch N., Belbachir B., Taibi H., Ayed K., Mouli M., Matériaux Composites Mortier-Polymère à Bases des Additions Minérales : Durabilité dans un Environnement à Tendance Acide. *Rencontres Universitaires de Génie Civil AUGC'15*, Bayonne, France, May (2015), in the <hal-01167753>.
12. Benosman A.S., Taibi H., Mouli M., Senhadji Y., Belbachir M., Bahlouli I., Houivet, D., *J. Mater. Envir. Sci. (JMES)*, 6 (2) (2015) 559.
13. Bouamrane A., Chahidi ELOuazzani D., Tiruta Barna L., Mansouri K., *J. Mater. Envir. Sci. (JMES)*, 5(2) (2014) 605.
14. El Hilal B., Lambarki EL Alloui T., Bouih M., Rafik A., El Harfi A., *Mor. J. Chem.* 4 (1) (2016) 215.
15. NF P 15-403. - *Technique des essais. - Sable normal et mortier normal* (homologuée le 31 juillet 1963) (1963).
16. N 196-1, *Methods of testing cement - Part 1: determination of strength*. European Committee for Standardization, CEN, (2005).
17. ASTM C267-01, *Standard Test Methods for chemical resistance of mortars, grouts, and monolithic surfacing and polymer concretes*, Annual Book of ASTM Standards, (2012).
18. Achoura D., Lanos Ch., Jauberthie R., Redjel B., *J. Phys. IV France.* 118 (2004) 159.
19. Pavlik V., Uncik S., *Cem. Concr. Res.* 28(6) (1998) 936.
20. Rossignolo J.A., Agnesini M.V.C., *Cem. Concr. Compos.* 26 (2004) 375.
21. Monteny J., De Belie N., Vincke E., Verstraete W., Taerwe L., *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 1359.
22. Benosman A.S., Mouli M., Taibi H., Belbachir M., Senhadji Y., *Int. J. Eng. Res. in Africa.* 5.1 (2011) 1.

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>