

## Valorisation de l'attapulгите de Pout comme inhibiteur de corrosion du fer à béton Fe500-3 dans la solution interstitielle du béton

### [ Valorization of Pout attapulгите as corrosion inhibitor for Fe500-3 concrete reinforcing iron in the interstitial solution of concrete ]

*Malang Bodian<sup>1</sup>, Dame Keinde<sup>2</sup>, Alpha Ousmane Touré<sup>2</sup>, Prince Momar Gueye<sup>2</sup>, and Modou Fall<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Département de Chimie, Laboratoire de Chimie Physique Organique et d'Analyses Environnementales, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

<sup>2</sup>Département de Génie Civil, Laboratoire de Matériaux de génie Civil (LMGC), Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The behavior of Fe500-3 iron was studied in the interstitial solution of mortar concrete, formulated from sand, cement, water, admixtures and in the presence of a clay (attapulгите) added as corrosion inhibitor. Indeed, in most cases in Senegal, mixing water and sand used in concrete formulations for buildings are subject to no treatment. The study solution was synthesized from these concretes at the 3rd, 7th and 28th day of wet cure. Fe500-3 iron corrosion tests in the interstitial concrete solution were carried out by monitoring the free corrosion potential, Tafel polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy measurement. The protective power of attapulгите was also evaluated by electrochemical methods with different levels of inhibitor (0 to 20%). The measurements reveal a probable attack of Fe500-3 iron at the 3rd and 7th day of cure in the absence of inhibitor and the protective effect of the interstitial solution of the concretes without inhibitor at the 28th day of cure by the formation of a protective layer on the iron surface. The results also showed the corrosion inhibition effect of the clay on the 3rd and 7th day of cure by the formation of a protective film on the surface of the metal. The layer thickness increases with the content of the clay. A maximum average inhibitory efficiency of about 87.8% was obtained at the 7th day of cure at the 20% clay content.

**KEYWORDS:** attapulгите, corrosion, inhibition, clay, concrete.

**RÉSUMÉ:** Le comportement du fer Fe500-3 a été étudié dans la solution interstitielle du béton à mortier formulé à partir du sable, du ciment, de l'eau, d'un adjuvant et en présence d'une argile (attapulгите) ajoutée comme inhibiteur de corrosion. En effet, dans la plupart des cas au Sénégal, l'eau de gâchage ainsi que le sable utilisés dans les formulations du béton pour les constructions ne sont soumis à aucun traitement. La solution d'étude a été synthétisée à partir de ces bétons au 3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> jour de cure humide.

Les tests de corrosion du fer Fe500-3 dans la solution interstitielle des bétons ont été réalisés par le suivi du potentiel de corrosion libre, les courbes de polarisation de Tafel et par des mesures de spectroscopie d'impédance électrochimique. Le pouvoir protecteur de l'attapulгите vis-à-vis du Fer Fe500-3 a également été évalué par les méthodes électrochimiques à différents teneurs en inhibiteur (0 à 20%).

Les mesures révèlent une attaque probable du fer Fe500-3 aux 3<sup>ème</sup> et au 7<sup>ème</sup> jours de cure en absence d'inhibiteur et l'effet protecteur de la solution interstitielle des bétons sans inhibiteur au 28<sup>ème</sup> jour de cure par la formation d'une couche protectrice à la surface du fer. Les résultats ont également montré l'effet inhibiteur de la corrosion de l'argile aux 3<sup>ème</sup> et 7<sup>ème</sup> jours de cure par la formation d'un film protecteur à la surface du métal. L'épaisseur de la couche augmente avec la teneur de l'argile. Une efficacité inhibitrice moyenne maximale d'environ 87,8% a été obtenue au 7<sup>ème</sup> jour de cure à la teneur de 20% en argile.

**MOTS-CLEFS:** attapulгите, corrosion, inhibition, argile, béton.

## **1 INTRODUCTION**

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé avec une production annuelle de cinq milliards de mètres cubes. Il est obtenu par un mélange de granulats (naturels ou artificiels), de liants (ciments), d'eau, et éventuellement d'adjuvants [1]. Depuis sa fabrication, ce mélange de sable, de ciment, de gravier, d'eau et d'adjuvant a fait l'objet de nombreuses recherches notamment dans le domaine de la corrosion.

Pour des raisons d'économie d'énergie et de réduction des coûts, la tendance à l'heure actuelle est de substituer des matières plus ou moins hydrauliques à une partie du ciment. Les additifs peuvent être choisis pour les propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques qu'ils développeront lors des processus d'hydratation. Il s'agit par exemple des cendres volantes et de la fumée de silice pour les propriétés pouzzolaniques, des laitiers de hauts fourneaux pour les propriétés hydrauliques.

De nombreuses études ont montré l'influence positive de l'utilisation de la fumée de silice dans les bétons sur le coefficient de diffusion des ions chlorures pour des additions inférieures à 10% [2]. Shekarchi *et al* [3] ont montré que la substitution partielle du ciment par de fumée de silice à hauteur de 7,5 % conduit à une importante réduction du coefficient de diffusion des chlorures. Des études ont également montré que l'addition de cendres volantes réduit fortement la porosité du béton et augmente donc sa résistance à la pénétration d'espèces extérieures telles que l'oxygène ou les ions chlorures. Maria Manuela Salta a montré que la substitution de 50 % de ciment par des cendres volantes conduit à une réduction de moitié du coefficient de diffusion des chlorures dans le cas d'une immersion dans une solution de chlorure de sodium [4]. De même, certains auteurs ont montré que la substitution de 30 % de ciment par des cendres volantes conduit à une diminution significative de la vitesse de corrosion.

En terme de durabilité, la maîtrise et l'optimisation des structures durables en béton armé constituent de nos jours un enjeu particulièrement important. La conception de la durabilité de ces ouvrages repose sur les règles de formulation du béton et le dimensionnement des enrobages en fonction des différentes classes d'exposition. Toutefois, ces règles ne prennent pas en compte de manière rigoureuse tous les phénomènes intervenant dans le processus de corrosion des armatures. Or, la durabilité des ouvrages est grandement liée à la corrosion des armatures provoquée par les agents tels que les chlorures (notamment présents dans le sable, l'eau et l'adjuvant) et le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère. Un moyen d'améliorer cet aspect consiste à fournir aux concepteurs de matériaux non plus des solutions typiques mais des modèles de durabilité intégrant l'ensemble des paramètres d'optimisation.

D'une manière générale, il y a un intérêt majeur à améliorer la performance et la durabilité des ouvrages en béton armé en considérant les dispositions normatives sur des approches plus rigoureuses sur le plan des phénomènes physiques, mécaniques et électrochimiques.

Nous analysons dans cet article le pouvoir protecteur de cette argile dans la solution interstitielle du béton par les méthodes électrochimiques (suivi du potentiel de corrosion libre, polarisation de Tafel et spectroscopie d'impédance électrochimique).

## **2 CONDITIONS ET METHODES EXPERIMENTALES**

Les bétons à mortier sont formulés avec du ciment SOCOCIM 42,5R, du sable de dune, de l'eau de robinet et un adjuvant de type Plastiment BV 40 combinant deux rôles : plastifiant et retardateur de prise. C'est un produit fabriqué par SIKA France S.A.S avec une teneur en ions chlorure inférieure ou égale à 0,1%. La composition massique de base utilisée est : sable de dune = 1116,5 kg/m<sup>3</sup> ; ciment = 545 kg/m<sup>3</sup> ; rapport eau/ciment = 0,545 et l'adjuvant = 17,194.

Des éprouvettes de dimension 4×4×16 (cm<sup>3</sup>) sont confectionnées selon la norme EN196-1. Les solutions utilisées pour les mesures électrochimiques et de pH sont synthétisées à partir de ces bétons.

Les mesures de la résistance mécanique et du pH n'ont pas été effectuées dans ce travail. Seul l'aspect électrochimique appliqué à l'étude de l'inhibition de la corrosion dans le milieu interstitiel du béton armé a été examiné.

Hidalgo *et al.* [5] considèrent que la façon la plus fiable de déterminer le pH de la phase aqueuse dans un ciment durci consiste à extraire la solution interstitielle par compression, et à mesurer son pH. Cependant, cette procédure est lourde et nécessite un équipement particulier et une quantité importante de ciment. De plus, cette méthode ne possède pas de protocole clairement défini. Un procédé simple permettant de déterminer le pH de la solution porale de différents liants a été mis au point. Cette méthode consiste à utiliser des suspensions. Le protocole suivant recommande un rapport S / L optimal de 1 / 1 et un temps d'agitation de 24h [6].

S, L sont les masses du solide et du liquide, respectivement.

Partant de cette méthode, des éprouvettes de dimensions  $4 \times 4 \times 16$  (cm<sup>3</sup>) ont été confectionnées en mortier avec un rapport eau/ciment (E/C) égal à 0,545. Certaines d'entre elles contiennent de l'attapulгите avec une proportion variant de 5% à 20% de substitution de la masse du ciment. Elles sont démoulées 24h après le malaxage et ont ensuite subi une cure « humide » (immergées dans l'eau). A différentes échéances de cette exposition (3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> jour de cure), 29,052 g du solide sont concassés en morceaux de taille inférieure à 100 µm. Les solutions (éch 1 : avec suspension) sont obtenues en ajoutant à chaque échantillon (0%, 5%, 10% et 20%) 30 ml d'eau distillée correspondant à la même masse du solide après 24h d'agitation.

Les solutions (éch2 : sans suspension) utilisées pour les mesures électrochimiques sont synthétisées à partir de ces mélanges (éch1) par un tamis de 50 µm dans les mêmes conditions.

Des mesures de pH des solutions avec et sans suspension n'ont pas été présentées dans cette note.

L'inhibiteur utilisé est l'attapulгите, argile provenant de Pout (Sénégal). Sa composition chimique centésimale est : SiO<sub>2</sub> = 57, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 13, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2, MgO = 14,4, Perte au Feu = 11,4 et du CaO existant en traces [7]. Les attapulgitites trouvent des applications dans le domaine industriel, notamment pour absorber les huiles ; elles sont utilisées à 88% pour des usages « grand public » en tant que litières pour animaux domestiques. Elles servent également de supports dans les produits phytosanitaires et d'agents actifs des pansements gastriques en pharmacie. L'argile a été broyée en poudre puis chauffée dans un four à la température de 800°C. Une granulométrie inférieure à 80 µm a été utilisée dans notre travail.

Pour des mesures électrochimiques, nous avons utilisé le fer à béton Fe500-3 de diamètre 8 mm de composition chimique centésimale définie selon la norme CEDEAO [8]: C = 0,22 ; N = 0,12 ; P = 0,0050 ; S = 0,050 ; CEV= 0,50 ; Fe.

Le carbone équivalent CEV doit être déterminé à partir de la formule suivante :

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

La barre d'acier est polie avec du papier abrasif et rincée à l'eau distillée. Les extrémités des barres sont protégées par un isolant pour que la corrosion soit limitée sur une surface bien déterminée.

Le dispositif expérimental pour la réalisation des tests électrochimiques comporte un potentiostat/Galvanostat µAutolab de type III + FRA 2 piloté par le logiciel GPES (General Purpose for Electrochemical System) ou FRA (Frequency Response Analyzer) et couplé à une cellule électrolytique en verre à trois électrodes. La cellule électrolytique est composée d'un ensemble de trois électrodes immergées dans un bêcher (fig.1). L'échantillon constitue l'électrode de travail, la contre électrode est une grille en acier et dans toutes les mesures électrochimiques, l'électrode de référence est Ag/AgCl (+197 mV/ENH à la température ambiante).

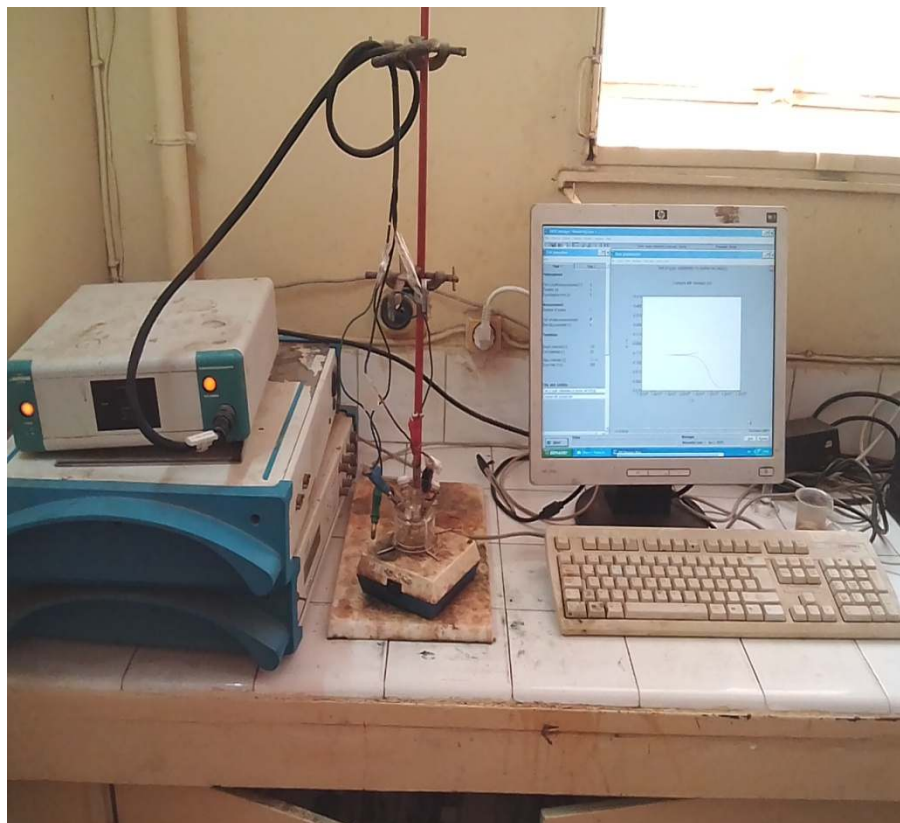


Fig. 1. appareil expérimental des mesures électrochimiques

La corrosion de l'acier a été étudiée par la méthode potentiodynamique, la vitesse de balayage étant fixée à 0,5 mV/s et le temps d'équilibre à 3 h. La détermination des paramètres électrochimiques ( $i_{corr}$ ,  $E_{corr}$ ,  $R_p$ ,  $b_a$  et  $b_c$ ) à partir des courbes de polarisation de Tafel, se fait à l'aide d'une régression non linéaire par le logiciel GPES selon l'équation de Stern-Geary après correction de la chute ohmique. L'efficacité inhibitrice est calculée à partir de la formule suivante [9] :

$$IE = \frac{R_p - R_p^0}{R_p} \times 100$$

$R_p$ ,  $R_p^0$  étant les résistances de polarisation avec et sans inhibiteur, respectivement.

La densité de courant est donnée par la relation de stern-Geary par la relation suivante [10] :

$$i_{corr} = \frac{1}{2,303R_p} \left( \frac{b_a b_c}{b_a + b_c} \right)$$

Avec  $b_a$ ,  $b_c$ , les constantes de Tafel anodique et cathodique respectivement.

Les mesures de spectroscopie d'impédance électrochimique ont été effectuées à l'aide du logiciel FRA2. Les courbes enregistrées après stabilisation du potentiel libre, sont obtenues au potentiel de corrosion libre avec une amplitude de 5mV. Les balayages en potentiel sont effectués en fréquences variables dans l'intervalle 10 kHz – 100 mHz avec 5 points/décade. Avant les mesures de la SIE, l'électrode de travail est maintenue en circuit ouvert pendant un temps d'équilibre de 3 h. L'efficacité inhibitrice a été évaluée à l'aide de l'équation [9] :

$$IE = \frac{R_{ct} - R_{ct}^0}{R_{ct}} \times 100$$

$R_{ct}^0$  et  $R_{ct}$  représentant la résistance de transfert de charge en l'absence et en présence d'inhibiteur, respectivement.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 SUIVI DU POTENTIEL DE CORROSION EN FONCTION DU TEMPS DANS LA SOLUTION INTERSTITIELLE

La figure 2 représente le suivi du potentiel de corrosion libre du fer Fe500-3 immergé dans la solution de synthèse du béton à mortier contenant de l'attapulgite avec une teneur variant de 0% à 20% et à des échéances de 3,7 et 28 jours de cure humide et à la température ambiante ( $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ) pendant 3 h. Les valeurs stationnaires des potentiels de corrosion  $E_{\text{corr}}$  sont obtenues à environ 2 h de polarisation. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 1.

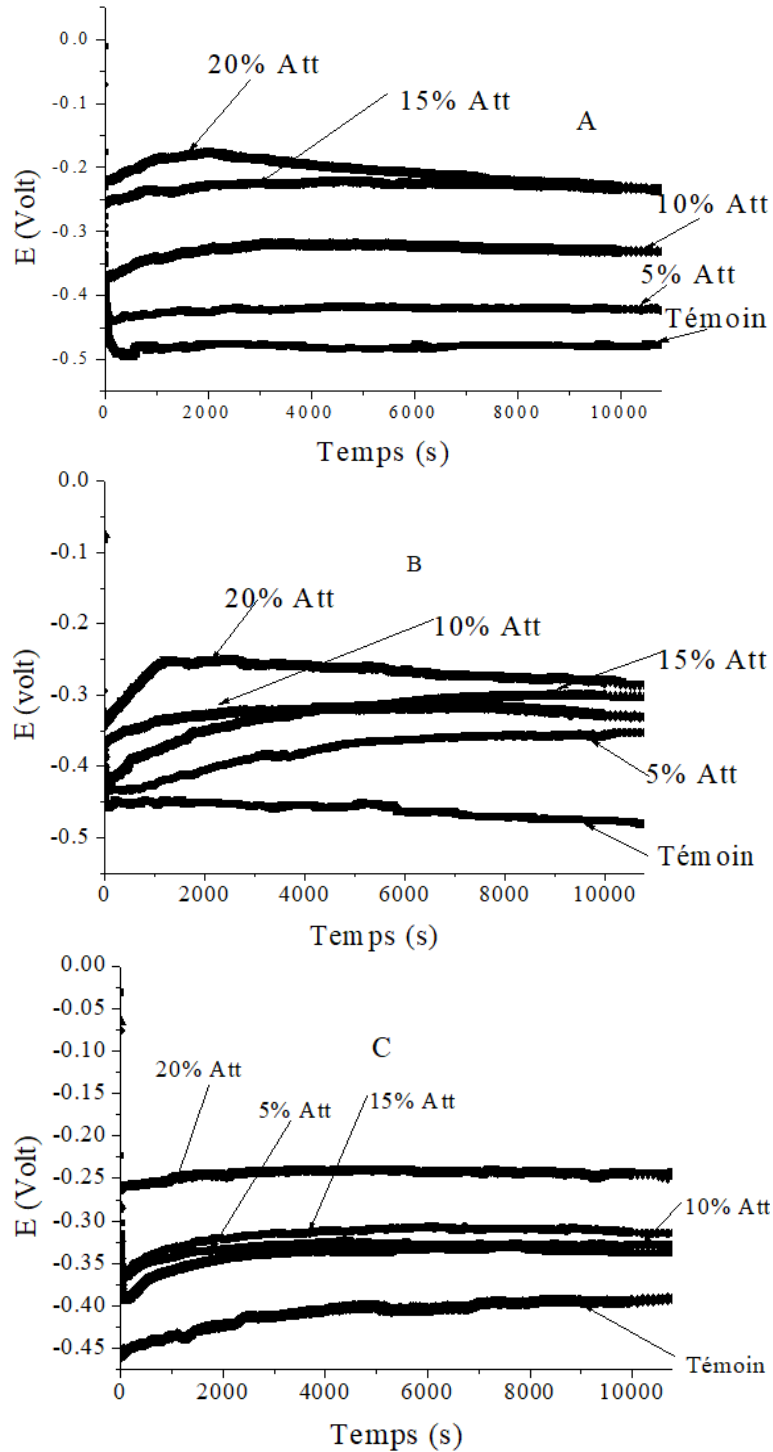


Fig. 2. Evolution du potentiel de corrosion en fonction du temps pour le fer à béton Fe500-3 dans la solution porale du béton à mortier à différentes teneur de l'attapulgite :(A) au 3<sup>ème</sup> jour, (B) au 7<sup>ème</sup> jour et (C) au 28<sup>ème</sup> jour et à la température ambiante

Il apparaît que le potentiel de corrosion  $E_{corr}$  des différentes courbes au 3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> de cure jour croissent vers les potentiels anodiques au fur et mesure qu'on augmente l'argile.

Cette évolution est sans aucun doute liée à la formation et la croissance d'une couche protectrice en fonction de la teneur de l'argile et met en évidence le caractère anodique de l'inhibiteur. Au 3<sup>ème</sup> et au 7<sup>ème</sup> jour, les courbes témoins présentent de légères fluctuations qui traduisent la formation de produits de corrosion à la surface du métal.

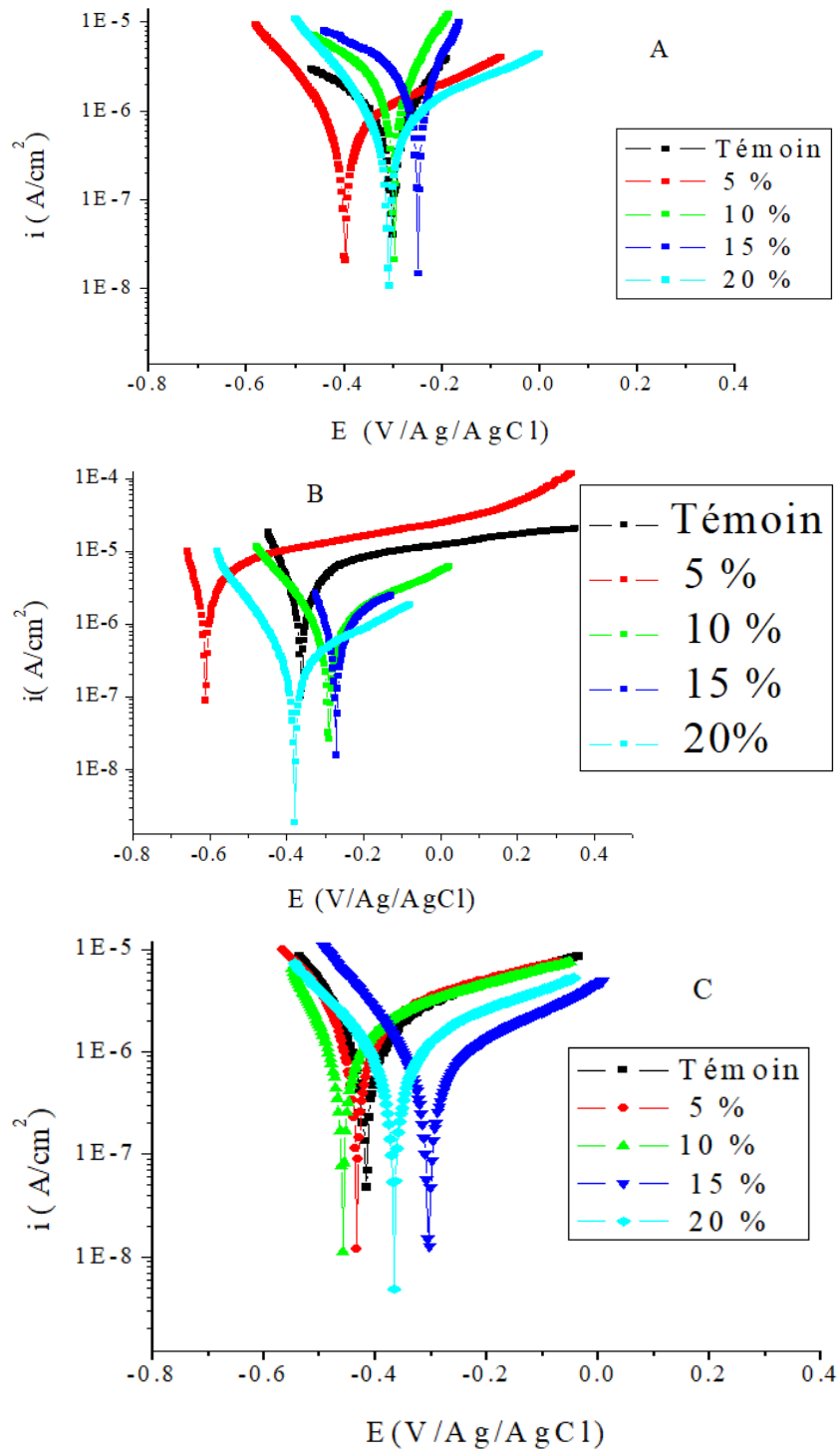
**Tableau 1.** *Potentiel de corrosion  $E_{corr}$  (mV/Ag/AgCl) du fer à béton Fe500-3 mesuré dans la solution de synthèse du béton à différentes teneurs en inhibiteur*

% Att	$E_{corr}$ (mV/Ag/AgCl) au 3 <sup>ème</sup> jour de cure	$E_{corr}$ (mV/Ag/AgCl) au 7 <sup>ème</sup> jour de cure	$E_{corr}$ (mV/Ag/AgCl) au 28 <sup>ème</sup> jour de cure
0%	-478	-481	-391
5%	-424	-354	-337
10%	-331	-303	-329
15%	-238	-330	-314
20%	-232	-285	-248

Au 3<sup>ème</sup> et au 7<sup>ème</sup> jour, les valeurs de  $E_{cor}$  des témoins sont très cathodiques et se valent respectivement -478 et -481 mV/Ag/AgCl (tableau 1). Ensuite, le potentiel de corrosion ( $E_{cor}$ ) augmente progressivement avec le temps de cure, pour atteindre une valeur de -391 mV/Ag/AgCl au 28<sup>ème</sup> jour. Cela explique le caractère protecteur du béton qui se ressent fortement au 28<sup>ème</sup> jour de cure. En présence d'inhibiteur, nous notons une évolution pour la plupart des potentiels de corrosion vers les valeurs anodiques en fonction du temps de cure.

### 3.2 COURBES DE POLARISATION

Les courbes de polarisation stationnaires, en absence et en présence des différentes teneurs en inhibiteur, tracées avec une vitesse de balayage de 0,5 mV.s<sup>-1</sup> après 3 heures d'immersion, sont représentées dans la figure 3. L'ensemble des paramètres électrochimiques obtenus à partir de ces courbes sont donnés dans le tableau 2.



**Fig. 3. Courbes de polarisation stationnaire du fer à béton Fe500-3 dans la solution porale du béton à mortier à différentes teneur de l'attapulгите : (A) au 3<sup>ème</sup> jour, (B) au 7<sup>ème</sup> jour et (C) au 28<sup>ème</sup> jour**

Nous constatons que l'addition de l'attapulгите dans le milieu béton, déplace le potentiel de corrosion vers des valeurs plus négatives pour certaines teneurs en inhibiteur. Par contre, pour d'autres teneurs en inhibiteur, le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs plus élevées. Cela peut être dû aux interactions entre les ions Cl<sup>-</sup> avec l'attapulгите [11].

En plus du déplacement du potentiel de corrosion libre dans les deux sens, l'ajout d'inhibiteur en solution induit une diminution importante de la densité du courant de corrosion. Cette diminution est d'autant plus importante que la teneur en inhibiteur introduit est élevée. Ces remarques montrent que l'attapulгите protège davantage le métal contre la corrosion.

La présence de l'inhibiteur à partir de 10%, diminue la cinétique de la réaction cathodique qui correspond à la réduction de l'oxygène mais sans faire apparaître de véritable plateau de passivation. Ce résultat est en accord avec les travaux de Guessoum et al qui montrent qu'en présence des minéraux argileux, les courbes cathodiques présentent alors un plateau cathodique de longueur différente attribuable à la diffusion de l'oxygène lors de sa réduction [12].

Au 7<sup>ème</sup> jour de cure, nous remarquons que l'allure des courbes dans les domaines cathodiques et anodiques à partir de la teneur de 10% en inhibiteur, a une grande modification par rapport à celle tracée en l'absence d'inhibiteur ; cela montre l'influence de l'argile sur les réactions de réduction cathodique et d'oxydation anodique.

**Tableau 2. Valeurs des paramètres Du fer à béton Fe500-3 obtenues à partir des courbes intensité-potentiel pour différentes teneurs de l'inhibiteur**

	% Att	$E_{corr}$ (mV/Ag/AgCl)	$I_{corr}$ ( $\mu$ A/cm <sup>2</sup> )	$R_p$ (k $\Omega$ .cm <sup>2</sup> )	$b_c$ (mV/dec)	$b_a$ (mV/dec)	IE%
<b>3<sup>ème</sup> jour de cure</b>	0	-400	8,746	1,35	50	60	-
	5	-397	4,988	2,29	63	89	<b>41,0</b>
	10	-297	2,240	2,46	27	24	<b>45,1</b>
	15	-249	0,238	7.31	65	53	<b>81,5</b>
	20	-307	0,024	17,42	85	46	<b>92,2</b>
<b>7<sup>ème</sup> jour de cure</b>	0	-358	8,811	1,30	51	55	-
	5	-612	4,503	1,58	35	31	<b>21,5</b>
	10	-289	2,110	1,81	20	26	<b>28,2</b>
	15	-272	0,249	12,70	98	74	<b>89,8</b>
	20	-379	0,082	17,54	153	83	<b>92,6</b>
<b>28<sup>ème</sup> jour de cure</b>	0	-416	0,484	2,81	41	76	-
	5	-433	0,371	4,51	51	79	<b>37,7</b>
	10	-359	0,310	5,54	62	76	<b>49,3</b>
	15	-303	0,296	11,38	87	59	<b>75,2</b>
	20	-366	0,198	12,62	116	78	<b>77,7</b>

Le tableau 2, nous montre que la résistance de polarisation augmente et la densité de courant diminue en présence d'inhibiteur. Cette augmentation de la résistance polarisation et la diminution de la densité de courant sont liées au pouvoir protecteur de l'argile où l'efficacité inhibitrice atteint 92,6% au 7<sup>ème</sup> jour de cure.

### 3.3 MESURE PAR LA SPECTROSCOPIE D'IMPEDANCE ELECTROCHIMIQUE

Des diagrammes d'impédance ont également été tracés après 3 h d'immersion dans ces différentes solutions et sont présentés sur la figure 4.

Les paramètres d'impédance électrochimique ont été déterminés en utilisant un circuit électrique équivalent simple. Il est composé d'un élément à phase constante CPE (Q) couplé en parallèle avec la résistance de transfert de charge  $R_{tc}$ , les deux sont couplés en série avec la résistance de la solution  $R_s$  comme indiqué sur la figure 4 en (D).

Tous les diagrammes de Nyquist présentent la même allure et se composent d'un arc capacitif de large diamètre illustrant la présence d'une couche d'oxydes protectrice, de type couche passive, à la surface de l'acier.

L'augmentation du diamètre de boucle avec la teneur de l'argile montre que cette couche d'oxydes devient plus protectrice au fur et mesure qu'on augmente l'argile du fait de l'évolution de son épaisseur.



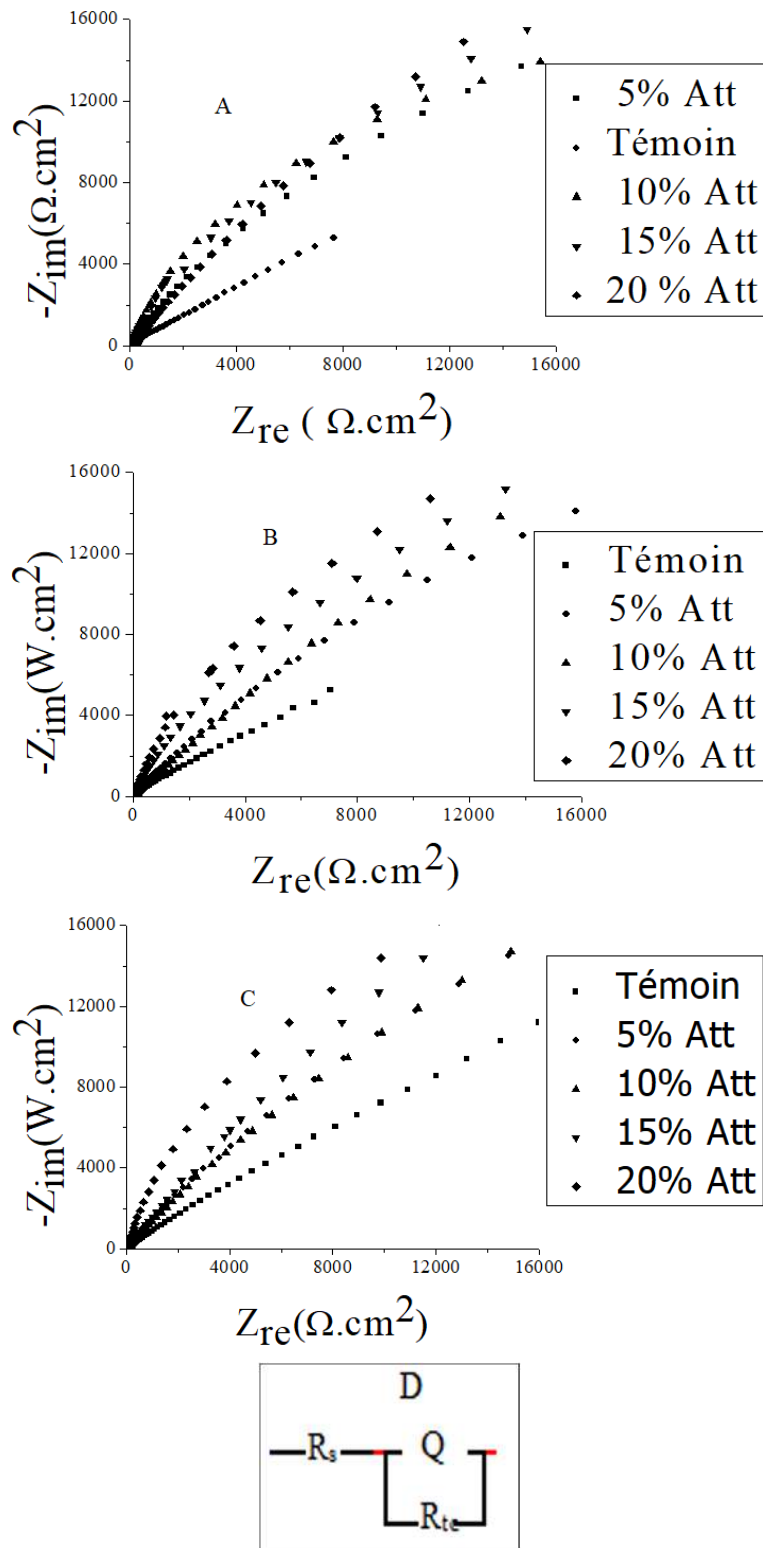


Fig. 4. Diagrammes d'impédances dans le plan de Nyquist du fer à béton Fe500-3 dans la solution porale du béton à mortier à différentes teneur de l'attapulgite :(A) au 3<sup>è</sup>em jour, (B) au 7<sup>è</sup>me jour et (C) au 28<sup>è</sup>me jour, (D) Circuit équivalent de Randles

Le tableau 3 présente les paramètres électrochimiques obtenus après simulation des résultats expérimentaux.

En absence d'inhibiteur, les valeurs de la résistance de transfert de charges  $R_{ct}$  croissent avec l'augmentation du temps de cure (tableau 3). Cela confirme l'effet protecteur du béton par la formation d'une couche d'oxyde à la surface du métal.

Tableau 3. Valeurs des paramètres Du fer à béton Fe500-3 obtenues après simulation des diagrammes d'impédances pour différentes teneurs de l'inhibiteur

	% Att	R <sub>s</sub> (Ω.cm <sup>2</sup> )	R <sub>ct</sub> (kΩ.cm <sup>2</sup> )	Q (F.cm <sup>2</sup> )	n	IE% Tafel	IE% Imp
3 <sup>ème</sup> jour de cure	0	62,2	28,96	0,297.10 <sup>-8</sup>	0,469	-	-
	5	36,5	40,32	0,169.10 <sup>-8</sup>	0,639	41	<b>28,2</b>
	10	12,7	68,32	0,080.10 <sup>-8</sup>	0,526	45,1	<b>54,6</b>
	15	31,45	76,25	0,00277.10 <sup>-8</sup>	0,777	81,5	<b>62,1</b>
	20	9,9	107,72	0,00121.10 <sup>-8</sup>	0,739	92,2	<b>73,1</b>
7 <sup>ème</sup> jour de cure	0	55,5	20,10	35,15.10 <sup>-8</sup>	0,676		
	5	90,1	64,60	30,31.10 <sup>-8</sup>	0,640	21,5	<b>68,8</b>
	10	35	89,90	14,14.10 <sup>-8</sup>	0,674	28,2	<b>77,6</b>
	15	41,468	96,25	3,88.10 <sup>-8</sup>	0,813	89,8	<b>79,1</b>
	20	112,2	119,16	0,00174.10 <sup>-8</sup>	0,565	<b>92,6</b>	<b>83</b>
28 <sup>ème</sup> jour de cure	0	47,9	17,71	4,71.10 <sup>-8</sup>	0,550	-	-
	5	34	56,20	2,31.10 <sup>-8</sup>	0,496	37,7	<b>68,5</b>
	10	48,8	63,76	1,23.10 <sup>-8</sup>	0,614	49,3	<b>72,2</b>
	15	10,3	75,22	0,00120.10 <sup>-8</sup>	0,608	75,2	<b>76,4</b>
	20	24	78,90	0,00226.10 <sup>-8</sup>	0,783	77,7	<b>77,5</b>

Avec l'addition de l'inhibiteur, la valeur de la capacité de double couche (CPE) diminue par rapport à la valeur témoin. Cette diminution pourrait être associée à une adsorption ou des molécules de l'inhibiteur à la surface de l'acier. En effet, plus l'inhibiteur s'adsorbe plus l'épaisseur du dépôt augmente et plus la capacité de double couche diminue [13-14]. Le pouvoir inhibiteur de l'argile dépend de sa concentration. En effet, lorsque la concentration en inhibiteur augmente plus l'efficacité inhibitrice augmente.

L'efficacité maximale est obtenue au 7<sup>ème</sup> jour de cure avec la valeur de 83% en accord avec les résultats obtenus avec Tafel.

#### 4 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons étudié le comportement du fer Fe500-3 dans la solution interstitielle du béton à mortier, formulé à partir du sable, du ciment, de l'eau, d'adjuvant et en présence d'une argile (attapulgite) ajoutée comme inhibiteur de corrosion.

Les tests de corrosion du fer Fe500-3 dans la solution interstitielle des bétons ont été réalisés par le suivi du potentiel de corrosion libre, la polarisation de Tafel et par la mesures de spectroscopie d'impédance électrochimique.

A chaque échéance (3<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> et 28<sup>ème</sup> jour de cure), le pouvoir protecteur de l'attapulgite a été aussi évalué par les méthodes électrochimiques à différentes teneurs en inhibiteur (0 à 20%).

Les mesures par le suivi du potentiel de corrosion révèlent une attaque probable du fer Fe500-3 au 3<sup>ème</sup> et au 7<sup>ème</sup> jour de cure en absence d'inhibiteur et l'effet protecteur de la solution interstitielle des bétons sans inhibiteur au 28<sup>ème</sup> jour de cure par la formation d'une couche protectrice à la surface du fer. Le décalage des potentiels de corrosion vers des valeurs plus positives montre le caractère protecteur de l'argile.

Les résultats obtenus par l'étude de l'efficacité, avec la méthode de Tafel et la spectroscopie d'impédance électrochimique, ont également montré l'effet inhibiteur de la corrosion de l'argile au 3<sup>ème</sup> et au 7<sup>ème</sup> jour de cure par la formation d'un film protecteur à la surface du métal. La croissance des paramètres de corrosion en fonction de la teneur en argile montre que cette couche augmente avec la teneur de l'argile.

#### REMERCIEMENTS

Remerciements sincères au Pr Modou Fall et Dr Dame Keinde pour leur apport technique

## REFERENCES

- [1] V. F Isabelle, "Sensibilité de la technique d'émission acoustique à la corrosion des armatures dans le béton ", Thèse, Université de Toulouse 2009.
- [2] A. LINDVALL, L.O. NILSSON, "Studies on the effect of secondary materials on chloride ingress ", Proceedings of Workshop on Durability of Exposed Concrete Containing Secondary Cementitious Materials, Hirtshals, Denmark, The Nordic Concrete Federation, pp 159-178, 2001.
- [3] M. SHEKARCHI, A. RAFIEE, H. LAYSSI, " Long-term chloride diffusion in silica fume concrete in harsh marine climates ", Cement & Concrete Composites, vol.31, pp.769-775, 2009.
- [4] SALTA MM, "Corrosion and corrosion protection of steel in concrete". In: Swamy RN, editor. Sheffield, UK, pp 793. 1994.
- [5] A. Hidalgo, J.L. Garcia, C. Alonso, L. Fernandez-Luco, C. Andrade, Testing methodology for pH determination of cementitious materials. Application to low pH binders for use in HLNWR, R&D on low-pH cement for a geological repository, Workshop, Madrid 2005.
- [6] Maud Codina, " Les bétons bas pH - Formulation, caractérisation et étude à long terme ", Thèse, INSA de Toulouse, 2007.
- [7] O. Serranno et al, " Notice explicative de la cartographie multi couches à 1/50 000 et à 1/20 000 de la zone d'activité du Cap Vert ", Dakar, 2009.
- [8] Normes CEDEAO, " Armatures pour Béton Armé –Barres et Couronnes Soudables à Verrous de Nuance FeE500 : Treillis Soudés Constitués de ses Armatures ", ECOSTAND XXX, 2016.
- [9] M. Doubi, A. Dermaj, H. Ramli, D. Chebabe, N. Hajjaji, A. Srhir, "Inhibition de la corrosion d'un acier E24 dans des eaux d'irrigation agricole", ScienceLib Editions Mersenne, Mersenne, volume 5 (130110) ISSN, pp 2111–4706, 2013.
- [10] M. Stern and A.L. Geary. " Electrochemical Polarization I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves", Journal of The. Electrochemical Society *J. Electrochem. Soc.* Vol.104, no1, pp.56-63,1957.
- [11] O. Sihem, "influence des inhibiteurs sur la corrosion de l'acier a37 dans differents milieux et leurs effets biocides sur e. coli ", Thèse Université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2013.
- [12] K. Guessoum, D. Veys-Renaux, E. Rocca, K. Belhamel, "Corrosion behaviour of zinc-cerium alloys: Role of intermetallic phases", Corrosion Science, vol.53, pp.1639-1645, 2011.
- [13] M. Lebrini, " Synthèses et études physicochimiques de nouveaux thiadiazoles inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide ", Thèse de doctorat, Université des sciences et Technologies de Lille, 2005.
- [14] D. K. Yadav, B. Maiti, M. A. Quraishi, " Electrochemical and quantum chemical studies of 3,4-dihydropyrimidin-2(1H)-ones as corrosion inhibitors for mild steel in hydrochloric acid solution ", journal/corrosion-science, vol.52, pp.3586-3598, 2010.