

Analyse électrochimique du comportement des ustensiles de cuisine locaux dans l'eau de robinet et dans différents milieux culinaires

Moussa BOUGOUMA³, Jacques SAWADOGO^{1,4*}, Aminata KABORE¹, Dasmané BAMBARA¹, Abdoulkadri AYOUBA MAHAMANE⁵, Rabani ADAMOU⁵ et Jean Boukari LEGMA²

¹ Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), OI BP 476 Ouagadougou OI, Burkina Faso ² Université Saint - Thomas - d'Aquin (USTA), Faculté des Sciences et Technologies, O6 BP 10212 Ouagadougou O6, Burkina Faso ³ Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERB, Département de Chimie, O3 BP 7021 Ouagadougou O3, Burkina Faso ⁴ Faculté des Sciences, Services de Chimie Analytique et Chimie des Interfaces (CHANI), Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique ⁵ Faculté de Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, Niamey, BP 10662, Niger

* Correspondance, courriel : Jacques.Sawadogo@ulb.ac.be

Résumé

Le comportement électrochimique des ustensiles de cuisine locaux en aluminium du Burkina Faso dans l'eau du robinet, concentré de tomate et de riz brisé a été étudié. Cette étude électrochimique a été utilisée pour la détermination des paramètres de corrosion des alliages d'aluminium dans différents milieux culinaires notamment le potentiel de corrosion (E_{corr}), l'intensité de corrosion (I_{corr}) et la résistance de polarisation (R_p). En plus, la polarisation potentiodynamique a montré un comportement actif-passif pour l'échantillon contenant peu de silicium. La microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie à rayons X à énergie dispersive (EDAX) ont été utilisées pour la caractérisation des surfaces des électrodes après les tests électrochimiques. L'analyse au MEB des images a permis d'affirmer que la répartition et la taille des précipités (ou inclusions) sont liées aux différents temps de cuisson et aux phénomènes de corrosion.

Mots-clés : alliages d'aluminium, cuisson, corrosion, polarisation potentiodynamique, MEB.

Abstract

Electrochemical analysis of local cooking ustensils behavior in tap water and in different culinary medias

The electrochemical behaviour of local kitchen aluminum ustensils (Burkina Faso) in tap water, concentrate tomato and broken rice was studied. These electrochemical studies were used to determine the electrochemical parameters of the aluminium alloys corrosion process, in different culinary environnement especially the corrosion potential (Ecorr), corrosion intensity (Icorr) and the polarization resistance (Rp). So the potentiodynamic polarization showed an active-passive behaviour in the which containts few contaminants silicone. Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDAX), were used to

characterize the surfaces of electrodes area after they have been subjected to electrochemmical testing. In the various samples, image analysis permitted to relate the distribution and the size of the precipitates (or inclusions) to different times of cooking and to the corrosion phenomena.

Keywords : aluminium alloys, cooking, corrosion, potentiodynamic polarization, scanning electron microscopy.

1. Introduction

107

L'aluminium, métal thermodynamiquement très oxydable, présente en pratique une excellente résistance à la corrosion. Grâce à ses propriétés (poids spécifique réduit, bonne conductivité thermique, bonne réflexion et résistance à la corrosion) [1], on l'utilise artisanalement sur une grande échelle, notamment dans les cuissons alimentaires. Les ustensiles de cuisine artisanaux en aluminium au Burkina Faso sont très populaires vu l'imperméabilité, l'inertie et la facilité d'empaquetage de celle-ci. Pour la fabrication des ustensiles de cuisine artisanaux, les artisans burkinabés utilisent des déchets d'aluminium provenant de l'industrie automobile, d'imprimerie, de la construction ou de la décoration. En effet, plus de 85 % de l'art culinaire au Burkina Faso est fait dans des marmites artisanales en aluminium [2]. Toutefois, certains auteurs ont montré dans leurs études que le pH et la température de certaines sauces alimentaires cuites dans les ustensiles de cuisine artisanaux en aluminium influencent de façon négligeable l'accumulation des ions aluminium (Al³⁺) [3 - 5]. En abondant dans le même sens, [6] ont montré que des phénomènes de corrosion peuvent se produire pendant la cuisson des repas. Cependant, ils peuvent, le plus souvent être évités par un bon tri des alliages de départ (déchets d'aluminium) utilisés pour la confection des ustensiles. Cependant, certains travaux répertoriés dans la littérature démontrent le contraire. En effet, ces travaux relatifs à l'influence des aliments sur les ustensiles en aluminium démontrent que ceux-ci se corrodent avec le temps, et la durée de cuisson [7 - 9]. Dans le même sens les travaux de Sawadogo et al, ont démontré la détérioration de la surface des marmites artisanales en aluminium au contact des produits alimentaires aqueux salés, aqueux acides et même aqueux neutres [2, 10]. Dans toutes les études réalisées, des méthodes analytiques et/ou électrochimiques sont le plus souvent utilisées. Cependant, les études démontrent qu'on peut réaliser rapidement une appréciation qualitative sur la résistance à la corrosion de l'aluminium et de son influence sur la qualité des aliments par des méthodes électrochimiques [11 - 13]. Les méthodes analytiques ne seraient pas bien indiquées, car elles nécessitent de longues périodes d'investigations de l'ordre de quelques mois [4]. Ainsi, l'objectif du présent travail est d'utiliser des méthodes électrochimiques pour étudier la résistance à la corrosion des ustensiles de cuisine locaux à base d'aluminium, utilisés dans l'art culinaire burkinabé. Plus particulièrement, leur comportement dans l'eau de distribution, du riz local brisé et de la tomate concentrée, qui sont les bases de l'art culinaire burkinabé sera étudié.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Le matériel est constitué d'échantillons d'alliages d'aluminium. Deux types d'échantillons d'alliages d'aluminium coulés en forme de rondelle, montés en électrode et répartis dans les deux groupes ont été utilisés *(Tableau 1).* Les échantillons de chaque espèce ont été collectés dans deux ateliers de fabrication de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) sis à la zone l et à Gounghin sud. Ces échantillons ont été classés en deux catégories et dénommés comme suit : l'échantillon n°1 qui contient de fortes teneurs en silicium et en cuivre combiné à un faible taux de magnésium et l'échantillon n°2 qui se différencie du précédent par de faibles teneurs en silicium et en cuivre avec un taux de magnésium élevé.

Éléments Échantillons	Al %	Si %	Fe %	Cu %	Zn %	Mg %	Cl %	Cr %	Mn %
n°l	82,33	12,70	0,658	1,11	1,27	0,24	0,19	0,021	0,204
n°2	93,24	4,27	0,601	0,538	0,311	0,48	0,13	/	0,055
NF	Base	13,5	2	0,6	0,25	11	<0,05	0,35	4

Tableau 1 : Composition chimique des alliages d'aluminium locaux obtenus par ICP-OES

NF : Norme Française

2-2. Méthodes

2-2-1. Conditions expérimentales

Les études réalisées comportent des essais de potentiel d'abandon et des mesures potentiocinétiques. Les électrodes de travail, d'une surface de 3, 46 cm2 sont enrobées dans de la résine *(Figure 1)* et ne laissent apparaître que la surface de travail. Elles sont polies mécaniquement sur du papier émeri de 300 à 4000 µm, puis à l'alumine de 6 à 1 µm, rincées à l'eau milli-Q, à l'acétone et enfin aux ultrasons dans l'éther de pétrole. La cellule classique à trois électrodes utilisée a une capacité de 1 litre. Une électrode de référence saturée au calomel. Une électrode auxiliaire (contre électrode) constituée d'une plaque de platine est employée.



Figure 1 : Électrode de travail [14]

La cellule électrochimique est connectée à un Autolab PGSTAT 20 (EcoChemie). L'acquisition et le traitement des données se font grâce au logiciel "General Purpose Electrochemical System" (GPES) EcoChemie version 4.9. La vitesse de balayage du potentiel est fixée à 5 mV/s, vitesse appropriée pour déterminer les paramètres cinétiques de façon reproductible [15, 16]. Les mesures électrochimiques sont reproduites deux à trois fois pour chaque échantillon et indiquent une reproductibilité de l'ordre de 3 à 9 %. L'analyse d'image est effectuée par microscopie Electronique à Balayage (MEB) de type JEOL modèle JSM 6100 couplé avec un analyseur [17]. Les études microscopiques sont réalisées en différents endroits sur les échantillons, les plages les plus représentatives de la surface examinée étant retenues.

2-2-2. Évaluation du processus de corrosion des alliages d'aluminium artisanaux

Pour simuler une opération similaire à la cuisine burkinabé, les échantillons (une surface polie) sont placés dans des cellules contenant les différents milieux étudiés afin de comprendre les phénomènes de corrosion. Ces milieux se composent comme suit [10] :

- Eau du réseau de distribution appelé milieu O à 300 mL / cellule ;
- Mélange d'eau de distribution et de riz brisé appelé milieu OR à raison de 5g dans 250 mL d'eau. Ce choix est dû au fait que le riz est la céréale la plus consommée au Burkina Faso où les habitants en consomment en moyenne une fois par jour accommodée de légumes, poissons et de viandes ;
- Mélange d'eau de distribution et de concentré de tomate appelé milieu TC (140 g de concentrée + 100 mL d'eau de distribution). Le concentré de tomate est aussi utilisé en cuisine burkinabé notamment pour la préparation des sauces.

La cuisine se faisant la plupart du temps à chaud, les différents milieux sont testés à la température d'ébullition (100 $^{\circ}$ C) pour simuler des conditions réelles de cuisson [18, 19].

3. Résultats et discussion

109

3-1. Analyses micrographiques

Les *Figures 2 et 3* illustrent les microstructures des alliages d'aluminium (échantillon n°1 et n°2) traités dans les milieux culinaires étudiés. Chaque Figure comprend 4 micrographies (a, b, c et d) qui diffèrent toutes les unes des autres. Par analyse des micrographies, on peut noter que l'échantillon n°1 *(Figure 2)* contrairement à l'échantillon n°2, présente une attaque sévère au niveau des joints des grains d'aluminium (zones encerclées). Cette attaque est due à la forte teneur de silicium contenue dans cet échantillon. De plus, dans les milieux OR et TC, les attaques paraissent légèrement plus accentuées au niveau des pores *(Figures 2c, 3c, 2d et 3d)*. En effet, l'attaque dans les milieux OR et TC, les précipités paraissent légèrement plus gros et de formes géométriques plus variées *(Figures 2c et 2d)*.



Figure 2 : Images MEB de l'échantillon n°1 attaqué : (a) état initial, (b) dans l'eau bouillante (c) dans du riz brisé, (d) dans de la concentrée de tomate après 60 minutes de cuisson

Moussa BOUGOUMA et al.



Figure 3 : Images MEB de l'échantillon n°2 attaqué : (a) état initial, (b) dans l'eau bouillante, (c) dans du riz brisé, (d) dans de la concentrée de tomate après 1 heure de cuisson

3-2. l'analyse chimique des zones encerclées

L'échantillon n°1 contenant plus de silicium présente des précipités beaucoup plus arrondis et de taille beaucoup plus grande comparativement à l'échantillon n°2 dans tous les milieux étudiés. En analysant les éléments chimiques des différentes formes de précipités par EDAX et en s'appuyant sur la littérature [1, 20], les formes sphériques des zones encerclées *(Figure 2)* dans l'échantillon n°1 sont attribuées aux composés Al₂CuMg, Si et (CuFeMn)Al₆ *(Figure 4)*[21].



Figure 4 : Micro-analyse des piqûres par EDAX de l'échantillon n°1 (zone encerclée) dans les milieux riz brisé et concentrée de tomate

Lors des analyses de surface à la microscopie électronique à balayage des échantillons n°1 et n°2 ayant subi une polarisation potentiodynamique, l'effet crucial de l'attaque du Cl⁻contenu dans certains milieux culinaires à la surface des échantillons a été remarqué [10]. Les *Figures 2* et *3* révèlent, à titre d'exemple, une attaque localisée avec la destruction de la couche protectrice et la mise à nu de la surface de ces deux types 111

d'échantillons. La microanalyse par EDAX des éléments présents à la surface a révélé une importante concentration du chlore ceci aux endroits des piqûres *(Figure 4c)*. De ce fait, nous pouvons affirmer que la piqûration et la dissolution de l'aluminium sont probablement dues à une forte adsorption du chlore qui facilite l'oxydation de l'aluminium en ions Al³⁺ pouvant passer en solution. Les phénomènes qui sont à l'origine de cette rupture chimique du film passif ont été intégrés dans plusieurs modèles théoriques. L'un des processus expliquant ces phénomènes peut être le déplacement concurrentiel des anions et des cations (doubles migrations des anions et des cations) dans le milieu d'étude. En effet, la couche passive étant assimilée à un film adsorbé (monocouche) d'oxygène, la rupture de la couche se produit lorsqu'un ion chlorure s'adsorbe et déplace l'oxygène. Ce mécanisme s'appuie sur le fait que l'échange d'ions adsorbés se produit sur des sites discrets (défauts, inclusions) [22].

3-3. Mesures électrochimiques de la corrosion des alliages d'aluminium artisanaux

La microstructure est composée de différentes phases solides [8, 23], composées en majorité des cristaux d'aluminium primaire, des composés intermétalliques et du silicium dans les alliages d'aluminium. Les différentes phases ayant des potentiels différents de corrosion [24, 25], un accouplage galvanique s'établit entre les différents constituants de la structure, et les éléments des zones anodiques passent en solution. Ainsi, la dégradation du matériau se manifeste par l'apparition et le développement de pigûres en surface. Les composés intermétalliques et le silicium étant localisés entre les joints de grains de l'aluminium primaire, on parle alors de "corrosion intergranulaire" [25], qui peut être activée par la présence des ions de chlorure (Cl⁻) dans certains des milieux de l'étude. En effet, l se corrode préférentiellement au niveau du silicium et des composés intermétalliques (*Figures 2 et 3*) et confirmant, de ce point de vue, le mécanisme de la corrosion par couplage galvanique en milieu aqueux des différentes phases présentes dans les alliages d'aluminium industriel observé par les différents auteurs [5, 26]. D'autres auteurs [27] ont noté, toutefois, le comportement différent des précipités riches en magnésium qui, anodiques par rapport à l'aluminium, sont mis en solution. Le magnésium étant associé avec le zinc dans les composés du type MgZn₂, ces deux éléments vont donc passer en solution dans le milieu alimentaire. Ainsi, dans tous les cas, l'attaque de l'interface aluminium-silicium ou aluminium-composés intermétalliques va conduire à un relâchement de ces derniers, qui vont s'incorporer dans les nourritures sous forme solide. Leur mise en solution éventuelle dépendra alors du milieu. Dans la mesure où les composés intermétalliques restent insolubles, ce mode de dégradation des matériaux relativise l'effet d'une trop grande quantité de cuivre dans les alliages produits par les artisans fondeurs. De l'analyse de ce qui précède, nous pouvons maintenant tirer les conclusions suivantes : L'étude de la corrosion des métaux dans les milieux alimentaires devient compliquée pour raison de l'extrême diversité des espèces chimiques qu'ils contiennent, espèces variant en fonction de l'origine du produit, du mode de préparation et de cuisson des aliments. Cependant, il est donc très difficile de contrôler tous ces facteurs pour avoir un milieu alimentaire stable et reproductible dans les tests, et de comparer les résultats des essais avec ceux obtenus par d'autres auteurs.

3-4. Étude du potentiel libre ou abandon

Le potentiel libre est une grandeur thermodynamique qui offre des indications concernant la probabilité thermodynamique du métal de se corroder dans un milieu [14]. Il dépend de la composition du milieu corrosif, de son pH et du temps d'immersion du métal en contact avec le milieu respectif. Les mesures du potentiel libre sont effectuées dans les milieux O, TC et OR pour les deux échantillons étudiés. Les *Figures 5 et 6* donnent l'évolution du potentiel en fonction du temps pour un essai typique de chaque échantillon. On peut remarquer que le potentiel des échantillons est plus noble dans le milieu O comparé au milieu TC pour les deux échantillons. Ces derniers dans ces milieux sont d'autant plus nobles que dans le milieu OR *(Figures 5 et 6).* Mais cette noblesse est beaucoup plus accentuée dans les milieux de cuisson en présence de l'échantillon n°2. Sur la *Figure 5*, le potentiel libre de l'échantillon n°1 immergé dans le milieu OR augmente puis diminue

avant de se stabiliser. L'augmentation du potentiel libre est liée à l'accroissement d'une couche d'oxyde d'aluminium (alumine) adhérent et protecteur à la surface du matériau. La cinétique de la réaction d'hydrolyse de la couche d'oxyde d'aluminium en contact avec les milieux d'étude est la même que la cinétique de formation de la couche compacte en contact du métal, lorsque le potentiel libre atteint l'état quasi-stationnaire [28]. Par contre, l'échantillon n°2 plongé dans le milieu OR a un potentiel libre qui augment puis reste stable après 210 secondes (*Figure 6*) excepté dans les milieux O et TC.



Figure 5 : Évolution du potentiel d'abandon de l'échantillon n°1 dans les milieux eau de distribution ($E_0 = -518$ mV/ECS), tomate concentrée ($E_0 = -671$ mV/ECS), riz brisé ($E_0 = -700$ mV/ECS) en fonction du temps

La diminution des potentiels libre est probablement due à la détérioration de la couche passive [24, 29], notamment avec l'apparition du phénomène de percée de la pellicule d'oxyde. Les valeurs moyennes du potentiel libre dans les milieux OR et TC sont toutes inférieures à la valeur obtenue dans le milieu O, ce qui présume une sévérité de l'attaque corrosive de ces deux milieux par rapport à l'eau de distribution.



Figure 6 : Évolution du potentiel d'abandon de l'échantillon n°2 dans les milieux eau de distribution ($E_0 = -518$ mV/ECS), tomate concentrée ($E_0 = -625$ mV/ECS), riz brisé ($E_0 = -629$ mV/ECS) en fonction du temps

Les valeurs moyennes des potentiels d'abandon des deux types d'échantillons, après la stabilisation, sont reportées dans les *Tableaux 2 et 3.* Ces valeurs ont été obtenues à la suite de plusieurs mesures reproductibles.

 Tableau 2 : Valeurs moyennes des potentiels d'abandons de L'échantillon n°1 en fonction du temps dans les trois milieux

Milieux d'étude	Eo		
Riz	- 700 \pm 0,03 mV		
Tomate concentrée	- 671 \pm 0,03 mV		
Eau de robinet	- 518 \pm 0,03 mV		

$E_0 = potentiel d'abandon$

113

 Tableau 3 : Valeurs moyennes des potentiels d'abandons de L'échantillon n°2 en fonction du temps dans les trois milieux

Milieux d'études	Eo		
Riz	- 629 \pm 0,03 mV		
Tomate concentrée	- $625\pm0,03$ mV		
Eau de robinet	$-$ 518 \pm 0,03 mV		

$E_0 = potentiel d'abandon$

Il est à souligner que la différence entre les deux échantillons est très importante du fait que l'échantillon n°2 montre une tendance à la passivation rapide comparée à l'échantillon n°1 *(Tableaux 2 et 3)*.

3-5. Tracé des courbes de polarisation

Le balayage du potentiel est effectué de -1000 à 500 mV/ECS. Les **Tableaux 4, 5, 6** et **Z** donnent les valeurs des potentiels de corrosion (E_{corr}), de densité de courant de corrosion (I_{corr}) et la résistance de polarisation (Rp) pour les deux échantillons dans les milieux d'études. Les **Figures 7, 8 et 9** illustrent, respectivement, le comportement des deux échantillons dans les milieux OR, TC et 0 après une heure (60 min) de cuisson. En effet, sur ces Figures des courbes de référence (t = 0 min) ont été introduites à titre de comparaison. Dans l'intervalle de potentiel étudié, l'ensemble des courbes a la même allure. Ces courbes sont composées de deux branches, anodique et cathodique.



Figure 7 : Courbes de polarisation potentiodynamique dans le milieu Eau de distribution + riz brisé : a) échantillon n°1 et b) échantillon n°2

La détermination des densités de courant de corrosion est faite à l'aide de l'équation de Tafel. Ces valeurs de l'échantillon n°2 sont nettement plus faibles dans les milieux O, OR et TC comparativement à l'échantillon n°1.



Figure 8 : Courbes de polarisation potentiodynamique dans le milieu Tomate concentrée : a) échantillon n°1 et b) échantillon n°2



Figure 9 : Courbes de polarisation potentiodynamique dans le milieu Eau de réseau de distribution : a) échantillon n°1 et b) échantillon n°2

Moussa BOUGOUMA et al.

3-6. Évaluation du processus de corrosion des alliages d'aluminium artisanaux

Dans les différents milieux d'études (*Figure 7, 8 et 9*), le potentiel de corrosion est déplacé vers des potentiels plus positifs pour l'échantillon n°2 contrairement à l'échantillon n°1. Le phénomène qui est à l'origine de ce déplacement du potentiel vers des valeurs négatives (échantillon n°1), est la rupture chimique du film passif par les chlorures (CI-) détectés par l'analyse EDAX à la surface de nos échantillons. Sur la *Figure 7* du milieu OR, la courbe de la branche anodique de la courbe de polarisation (échantillon n°2) présente un pseudo plateau de passivation suivi par une forte augmentation des densités de courants anodiques, qui prédit une attaque par piaûres de la surface. Le même phénomène s'observe dans le milieu O *(Fiaure 9)*. Le processus de diffusion de l'oxygène régit le processus cathodique. En effet, l'un des mécanismes expliquant ces phénomènes peut être le déplacement compétitif des ions Al³⁺ [30]. Le film passif est assimilé à un film absorbé d'oxygène. La rupture se produit lorsqu'un ion chlorure s'absorbe et déplace l'oxygène [31 - 33]. Dans le milieu TC (*Figure 8)* un changement de l'allure des courbes est observé pour les deux types d'échantillons ; il apparaît un grand domaine de passivation anodique. On pense que la rupture de la passivité est due à l'acidification locale résultant de l'hydrolyse des ions métalliques, qui empêche la repassivation et la corrosion se propage de façon autocatalyse. La microanalyse des ilots *(Figure 4)* par EDAX révèle une présence de concentration de chlore, ceci aux endroits de pigûres. Ainsi, on peut dire que la pigûration et la dissolution de l'aluminium sont probablement dues à une forte adsorption du chlore facilitant l'oxydation de l'aluminium en ions Al³⁺. Les paramètres électrochimiques (E_{corr}, I_{corr}, R_p) déduits de ces courbes sont consignés dans les *Tableaux 4, 5, 6 et 7*. Les densités de courant de corrosion (I_{corr}) ont été déterminées à l'aide de l'équation de Tafel autour du potentiel de corrosion.

Tableau 4 : Principaux paramètres du processus de corrosion des alliages D'aluminiums artisanaux
(dE/dt = 5mV/s) en le milieu eau de distribution + riz brisé

	E _{corr} (mV)		Ι _{corr} (μΑ	A/cm²)	Rp (Ω.cm²)	
Temps (min)	Échantillon n°1	Échantillon n°2	Échantillon n° 1	Échantillon n°2	Échantillon n° 1	Échantillon n°2
0	-497	-859	3 ,7.10 ⁻⁹	7,58.10 ⁻⁹	45075	45855
60	-791	-628	3,12.10 ⁻⁹	6,61.10 ⁻⁹	8306	13650

 Tableau 5 : Principaux paramètres du processus de corrosion des alliages D'aluminiums artisanaux (dE/dt= 5mV/s) en le milieu tomate concentrée

	E _{corr} (mV)		I _{corr} (μΑ	\/cm²)	Rp (Ω.cm²)	
Temps (min)	Échantillon n° 1 Échantillon n° 2		Échantillon n° 1	Échantillon n°2	Échantillon n° 1	Échantillon n°2
0	-663	-718	1,03.10 ⁻⁸	7,18.10 ⁻⁶	3822	13798
60	-670	-541	6,23.10 ⁻⁸	6.10 ⁻⁸	31	31

Tableau 6 : Principaux paramètres du processus de corrosion des alliages d'aluminium artisanaux(dE/dt = 5mV/s) en le milieu eau de distribution simple

	E _{corr} (mV)		Ι _{corr} (μΑ	\/cm²)	Rp (Ω.cm²)	
Temps (min)	Échantillon n°1	Échantillon n°2	Échantillon n° 1	Échantillon n°2	Échantillon n° 1	Échantillon n°2
0	-346	-442	1.10-9	1 <i>,</i> 5.10 ⁻⁹	43121	94926
60	-372	-372	6,9.10 ⁻⁹	2,2.10 ⁻⁹	4893	24753

116

L'analyse des différentes courbes et tableaux montre une influence négative des milieux sur l'échantillon n°1 contenant plus de silicium comparativement à l'échantillon n°2 contenant moins de silicium. La densité de corrosion (I_{corr}) exprimée en μ A.cm⁻² de l'échantillon n°1 directement proportionnelle à la vitesse de corrosion augmente dans tous les milieux d'étude. Ces résultats consignés dans les tableaux indiquent la stabilité de la couche d'oxyde (alumine) à la surface de l'échantillon n°2 ainsi que sa bonne résistance à la corrosion comparativement à l'échantillon n°1, avec un taux de corrosion plus faible dans différents milieux après 60 minutes de cuisson.

	Rp1 (Ω.cm	²) Échantillor	ı n° l	Rp ₂ (Ω .cm ²) Échantillon n°2			
	Milieux			Milieux			
Temps (min)	OR	TC	0	OR	TC	0	
0	8306	3822	48893	45855	13798	94926	
60	4075	31	43121	13650	31	24753	

Tableau 7 : Paramètres électrochimiques des échantillons n°1 et n°2

La résistance de polarisation (Rp) exprimée en ohm.cm² *(Tableau 7)*, est inversement proportionnelle à la densité de courant de corrosion pour les échantillons n° 1 et n° 2 dans tous les milieux d'études. L'échantillon n° 1 a une situation un peu différente puisque tous les milieux présentent une agressivité sévère au regard de la résistance de polarisation. L'échantillon n° 2 présente une bonne résistance à la corrosion dans tous les milieux d'étude selon les résultats obtenus. Confirmant ainsi les résultats de l'étude du potentiel d'abandon clairement [34, 35].

4. Conclusion

Les mesures électrochimiques dans les milieux O, TC et OR ont montré clairement que l'échantillon n°2 se comporte mieux dans ces milieux et présente une meilleure résistance à la corrosion comparativement à l'échantillon n°1. Cela a été confirmé par les analyses morphologiques. Les courbes de polarisation dans les milieux O et TC indiquent également, un courant de passivation élevée pour l'échantillon n°1 que pour l'échantillon n°2. Cela est dû à l'absence d'une passivation efficace pour l'échantillon n°1. En ce qui concerne les résistances de polarisation, les valeurs obtenues de l'échantillon n°2 étant supérieures à celles de l'échantillon n°1, permettent de conclure que celui-ci se corrode lentement donc résiste plus à la corrosion. Ces études confirment clairement une passivation efficace de l'échantillon n°2 comparativement à l'échantillon n°1 pour lequel le courant de corrosion est plus élevé. En outre, l'interprétation des résultats montre que la grande quantité du silicium dans l'échantillon n°1 fragilise sa résistance à la corrosion. On constate enfin que, l'activation est mise en évidence par le décalage du potentiel de corrosion et le potentiel de piqûration.

Remerciements

Nos remerciements vont aux autorités de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) ex CUD de la Belgique pour le soutien financier très important qui s'est traduit par des séjours de recherche de Jacques SAWADOGO à l'Université libre de Bruxelles.

Références

- [1] D. MARECI, I. POPA, G. UNGUREANU, D. AELENEI, J.C.M. ROSCA, *Scientific Study and Research, VII*, (4) (2006) 769 778
- [2] J. SAWADOGO, M. BOUGOUMA, T. RAMDE, G. BOUBIE, L. D. BONOU, M.-P. D. OGLETREE, J.B. LEGMA, *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie,* 037, (2014) 18 28, http://www.soachim.org
- [3] S. JOSHI, R. TOMA, N. MEDORA, K. O'CONNOR, Food chemistry, 83 (3) (2003) 383 386
- [4] R. KARBOUJ, "*Transfert d'aluminium : cas des matériaux pour contact alimentaire*", Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, Grenoble, (2008) 293 p.
- [5] L. FRATILA-APACHITEI, I. APACHITEI, J. DUSZCZYK, *Electrochimica acta*, 51 (26) (2006) 5892 5896
- [6] L. GRAMICCIONI, G. INGRAO, M. MILANA, P. SANTARONI, G. TOMASSI, *Food Additives & Contaminants,* 13 (7) (1996) 767 774
- [7] D. R. WILLIAMS, Journal of inorganic biochemistry, 79 (1) (2000) 275 283
- [8] M. B. NDIAYE, S. BEC, B. COQUILLET, I. K. CISSÉ, *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 4 (4) (2012) 367 370
- [9] T. RAMDE, "Comportement à la corrosion des alliages d'aluminium recyclés pour la confection de marmites", Thèse Unique, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, (2009) 109 p.
- [10] J. SAWADOGO, M. BOUGOUMA, A. A. MAHAMANE, M. A. MAMAN, A. KABORE, M. B. POUYA, J. B. LEGMA, M. P. SEDOGO, Afrique SCIENCE, 12 (3) (2016) 160 - 170, http://www.afriquescience.info
- [11] G. BOISIER, "Nouvelles voies d'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium 2024 plus respectueuses de l'environnement : applications aux couches d'anodisation colmatées", Université de Toulouse, (2008) 183 p.
- [12] G. FACY, M. POMPIDOU, *1er p. AFNOR, toimittaja*, (1983)
- [13] M. DRAISSIA, "Structure et physico-chimie des dépôts métastables aluminium-cuivre élaborés par pulvérisation cathodique magnétron", Thesis (PhD), Université Badji-Mokhtar Annaba (Algérie), (2004) 98
- [14] J. SAWADOGO, "Caractérisation physico-chimique des ustensiles de cuisine fabriqués artisanalement au Burkina Faso", Thèse de Doctorat Unique, Université de Ouagadougou - Burkina Faso, (2015) 217 p.
- [15] F. MANSFELD, Technical report no. 26, Solartron limited, 1 (1999) 77
- [16] R. SALGHI, L. BAZZI, B. HAMMOUTI, A. BOUCHTART, S. KERTIT, A. A. ZA, Z. EL ALAMI, *Annales de Chimie Science des Materiaux*, 25 (3) (2000) 187 200
- [17] H. SARAH, "Étude du comportement en oxydation de nouveaux revêtements en aluminiure de Nickel dopé au Zirconiums : application aux barrières thermiques", Thèse de Université pierre et Marie Curie, (2009) 178
- [18] P. ALTMANN, J. CUNNINGHAM, U. DHANESHA, M. BALLARD, J. THOMPSON, F. MARSH, *British Medical Journal*, 319 (7213) (1999) 807 811, https://doi.org/10.1136/bmj.319.7213.807
- [19] J. SAWADOGO, B. NISOL, M. BOUGOUMA, T. RAMDÉ, G. BOUBIÉ, C. BUESS-HERMANN, J. B. LEGMA, International Journal of Biological and Chemical Sciences, 8 (6) (2014) 2813 - 2827, http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.38
- [20] M. REBOUL, Revue de l'aluminium, 35 (9) (1979) 423 428
- [21] N. BERNARD, N. PEBERE, C. RICHARD, W. MARTINE, Ed. Presse polytechniques et Universitaires Romandes, INSA, (2004)
- [22] T. RAMDE, L. BONOU, B. GUEL, J. B. LEGMA, *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie,* 26 (2008) 113 - 121, http://www.soachim.org
- [23] P. BOMMERSBACH, C. ALEMANY-DUMONT, J.-P. MILLET, B. NORMAND, *Electrochimica Acta*, 51 (6) (2005) 1076 1084, https://doi.org/10.1016/j.electacta.2005.06.001

- [24] R. P. WEI, C.-M. LIAO, M. GAO, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 29 (4) (1998) 1153 1160
- [25] P. PAO, S. GILL, C. FENG, K. SANKARAN, Scripta Materialia, 45 (5) (2001) 605 612, http://dx.doi.org/10.1016/S1359-6462(01)01070-3
- [26] F. ANDREATTA, H. TERRYN, J. DE WIT, *Electrochimica Acta*, 49 (17) (2004) 2851 2862, http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2004.01.046
- [27] V. GUILLAUMIN, G. MANKOWSKI, *Corrosion Science*, 42 (1) (2000) 105 125, http://dx.doi.org/10.1016/S0010-938X(99)00053-0
- [28] M. STERN, *Corrosion*, 14 (9) (1958) 60 64
- [29] W. MILLER, L. ZHUANG, J. BOTTEMA, A. J. WITTEBROOD, P. DE SMET, A. HASZLER, A. VIEREGGE, Materials Science and Engineering : A, 280 (1) (2000) 37 - 49, DOI: S0921-5093(99)00653-X
- [30] E. L. STIRBU, M. ABRUDEANU, J.-P. MILLET, *UPB Scientific Bulletin, Series B : Chemistry and Materials Science,* 8 (1) (2006) 55 66
- [31] C. AUGUSTIN, "Prévision des cinétiques de propagation de défauts de corrosion affectant les structures en alliage d'aluminium 2024", Institut National Polytechnique de Toulouse, Tolouse, (2008) 243
- [32] N. ETTEYEB, L. DHOUIBI, H. TAKENOUTI, M. ALONSO, E. TRIKI, *Electrochimica Acta*, 52 (27) (2007) 7506 -7512, https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.03.003
- [33] L. DHOUIBI, E. TRIKI, M. SALTA, P. RODRIGUES, A. RAHARINAIVO, *Materials and Structures*, 36 (8) (2003) 530 540, https://doi.org/10.1007/BF02480830
- [34] K. ABREO, H. H. MALLUCHE, American journal of nephrology, 8 (5) (1988) 426 430, DOI: 10.1159 / 000167631
- [35] W. DEQING, S. ZIYUAN, Z. LONGJIANG, Applied Surface Science, 214 (1) (2003) 304 311, https://doi.org/10.1016/S0169-4332(03)00505-1