

RESISTANCE A LA CORROSION DES ALLIAGES UTILISES COMME IMPLANTS EN MILIEU BIOLOGIQUE

H. Chaouki, A. Chtaini, A. El Bouadili

*Laboratoire d'Electrochimie et de Bio Corrosion, Faculté des Sciences et
Techniques, BP : 523, Beni Mellal, Maroc. E-mail: chtainia@yahoo.fr*

Résumé : Les propriétés de surface et la résistance à la corrosion d'un métal ou alliage sont les déterminants primaire de la bio compatibilité et donc de leur comportement dans un environnement biologique. Rappelons que dans l'organisme, il peut se produire des réactions électrochimiques. Les liquides biologiques sont des milieux électrolytiques, qui assurent la conductivité ionique. Certaines caractéristiques physico-chimiques de ces milieux telles que le potentiel d'oxydoréduction, la conductivité électrique et le pH ont une très grande influence sur les phénomènes de corrosion. Dans ce travail, nous avons étudié la résistance à la corrosion de l'acier et du cuivre en milieu biologique contenant des acides aminés. Les méthodes électrochimiques utilisées sont, le potentiel d'abandon, les courbes de polarisation et les mesures d'impédances.

Abstract: The surface properties and the resistance to corrosion of a metal or alloy are primary determined by their biocompatibility and their behavior in a biological environment. In the organism electrochemical reactions may occur. The biological fluids are electrolytic environments, they assuring the ionic conductivity. Several physical-chemical characteristics of these environments, such as the redox potential, the electric conductivity and the pH have a big influence upon the corrosion phenomenon. In this paper, we have studied the corrosion resistance of steel and copper in biological environments containing amino acids. The electrochemical methods used were the abandon potential, the polarization curves and the impedance measurements.

Mots clés : biomatériaux, milieu biologique, acides aminés, implants, bio-corrosion

Keywords: biomaterials, biological environment, amino acids, implants, bio-corrosion

1. INTRODUCTION

Pour qu'un matériau soit considéré comme un biomatériau, il faut qu'il puisse répondre à un ensemble de critères d'appréciations concernant ses interactions avec l'environnement où il se trouve. Il doit répondre aux règles générales des biomatériaux :

- ne pas modifier l'environnement,
- ne pas être modifié par l'environnement,
- être chimiquement inerte,
- ne pas déclencher de réactions inflammatoires,
- ne pas être carcinogénique,
- supporter les contraintes mécaniques ;
- être d'une manipulation aisée, tant pour sa mise en œuvre que pour son application clinique.

Tout biomatériau, introduit dans l'organisme, est soumis à un environnement complexe qui tend à le corroder [1 - 7]. Cette dégradation du biomatériau compromet sa pérennité. Elle se traduit par la libération d'ions métalliques qui pénètrent dans les tissus voisins et sont disséminés à distances via les fluides biologiques [8]. Cette libération d'ions peut dans certains cas avoir des effets toxiques [9].

Le but de notre étude est donc de mettre en évidence une participation des acides aminés dans le phénomène de corrosion des biomatériaux utilisés comme implants et de trouver un électrolyte de référence afin de se rapprocher des conditions *in vivo*.

2. PARTIE EXPERIMENTALE

2.1. Milieu électrolytique

Dès leur implantation dans l'organisme, les matériaux vont se trouver en milieu hostile. En plus de l'agression physique due à l'environnement mécanique du site d'implantation (force de traction, torsion...), ils vont subir une attaque chimique par le milieu biologique, ainsi le plasma humain, qui contient en plus des matières organiques telles que le cholestérol, l'urée, des acides aminés libres, des éléments minéraux qui sont totalement dissociés (Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} ...) [10]. Or les ions chlorures sont reconnus principal agent de corrosion.

Nous avons retenu pour nos mesures le sérum physiologique (NaCl 9 g/l) comme étant la solution la plus représentative du corps humain.

Les liquides qui circulent dans l'organisme véhiculent des quantités appréciables d'acides aminés libres. Nous en avons choisi cinq : la sérine, l'alanine, l'arginine, la tyrosine et l'acide glutamique. Les teneurs réelles d'acides aminés libres dans l'organisme sont comprises entre 10^{-5} et 10^{-6} M. Cependant les acides aminés peuvent parvenir dans le corps humain par d'autres voies (médicaments, aliments...). Pour cette

raison nous avons utilisé dans cette étude des concentrations plus élevées de l'ordre de $10^{-2}M$.

Avant d'étudier l'influence des acides aminés sur le comportement électrochimique de l'acier et du cuivre, il est nécessaire de connaître la stabilité de chacune des molécules en fonction du temps. Pour cela nous avons utilisé la spectrophotométrie ultra-violet.

2.2. Montage électrochimique

Il est constitué d'un montage potentiodynamique à trois électrodes et d'une cellule électrochimique. Les trois électrodes sont : l'électrode de travail constitué du matériau à tester ($1 \times 1 \text{ cm}^2$), l'électrode de référence (calomel) et l'électrode auxiliaire constituée d'une plaque de platine ($1 \times 1 \text{ cm}^2$).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Potentiel abandon

Les figures 1 et 2, représentent, respectivement, l'évolution des potentiels d'abandon des échantillons cuivre et aciers en milieu biologique. Les potentiels d'abandon se stabilisent après, environ, 20 minutes d'immersion des échantillons dans le milieu et correspondent aux potentiels de la formation des couches d'oxydes (potentiels de passivation) à la surface métallique. La présence des acides aminés dans le milieu augmente les potentiels de passivation, à l'exception de la sérine dans le cas du cuivre.

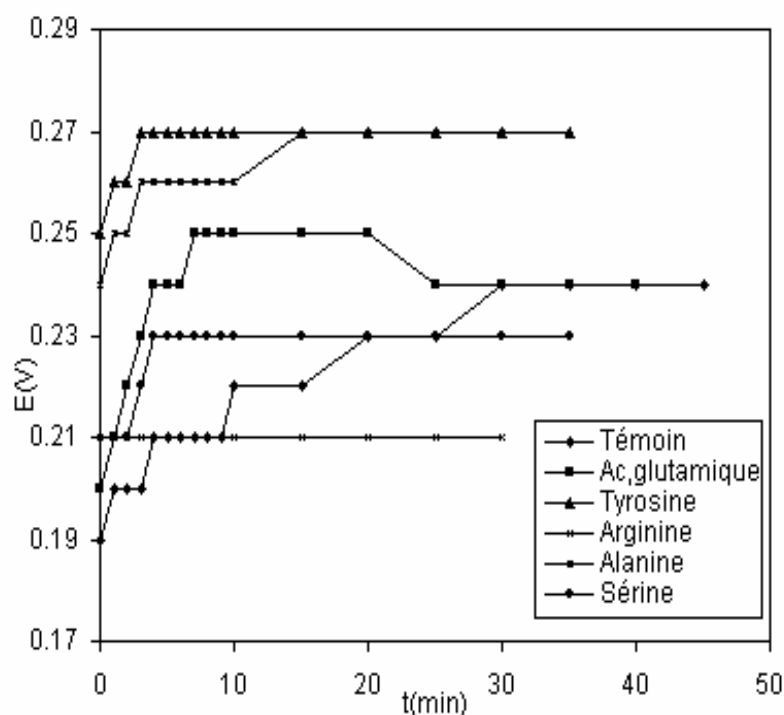


Figure 1: Potentiels d'abandon avec et sans acides aminés du cuivre.

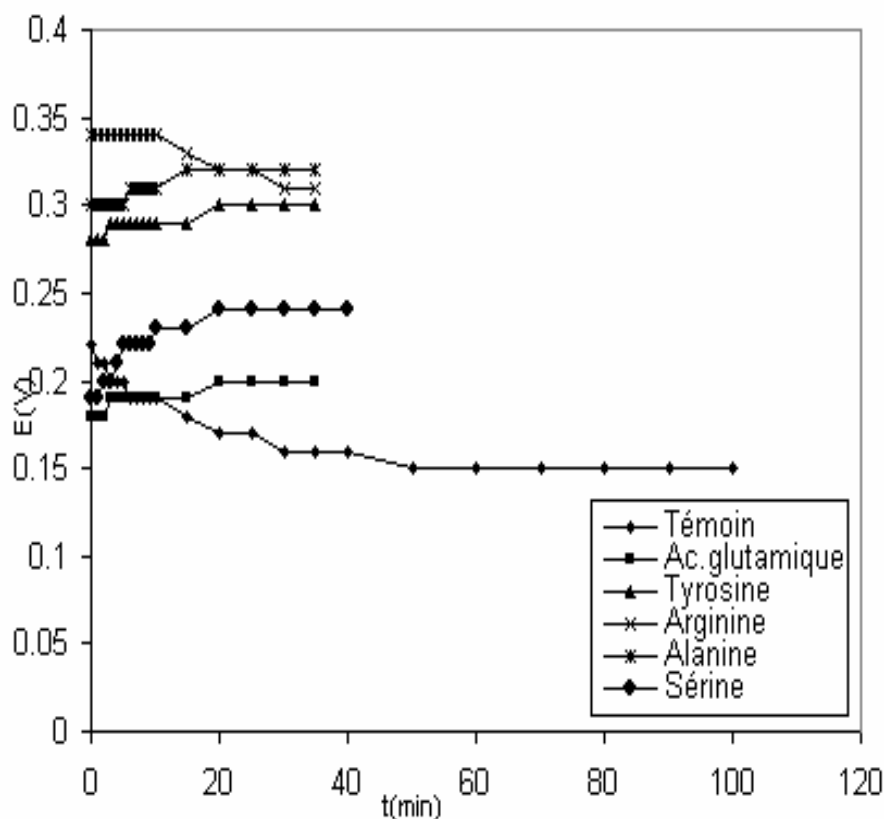


Figure 2: Potentiels d'abondant avec et sans acides aminés de l'acier inoxydable.

3.2. Courbes de polarisation

Les figures 3 et 4, illustrent, respectivement, le comportement des différents acides aminés aux interfaces cuivre/NaCl et acier/NaCl.

Dans l'intervalle de potentiel étudié, l'ensemble des courbes a la même allure. Ces courbes se composent de deux branches, anodique et cathodique. Les paramètres électrochimiques déduits de ces courbes sont donnés par les Tableaux 1 et 2.

Tableau 1: Paramètres du cuivre

	Témoin	Acide glutamique	Tyrosine	Arginine	Alanine	Sérine
Rp (ohm.cm ²)	568.74	349.82	398.20	315.83	513.83	1030.0
Icorr (mA/cm ²)	0.0952	0.2203	0.1859	0.2559	0.1937	0.0198

Tableau 2: Paramètres de l'acier inoxydable

	Témoin	Acide glutamique	Tyrosine	Arginine	Alanine	Sérine
Rp (ohm.cm ²)	359.49	491.29	298.94	413.50	308.74	370.33
Icorr (mA/cm ²)	0.1452	0.1631	0.2961	0.1890	0.2100	0.1611

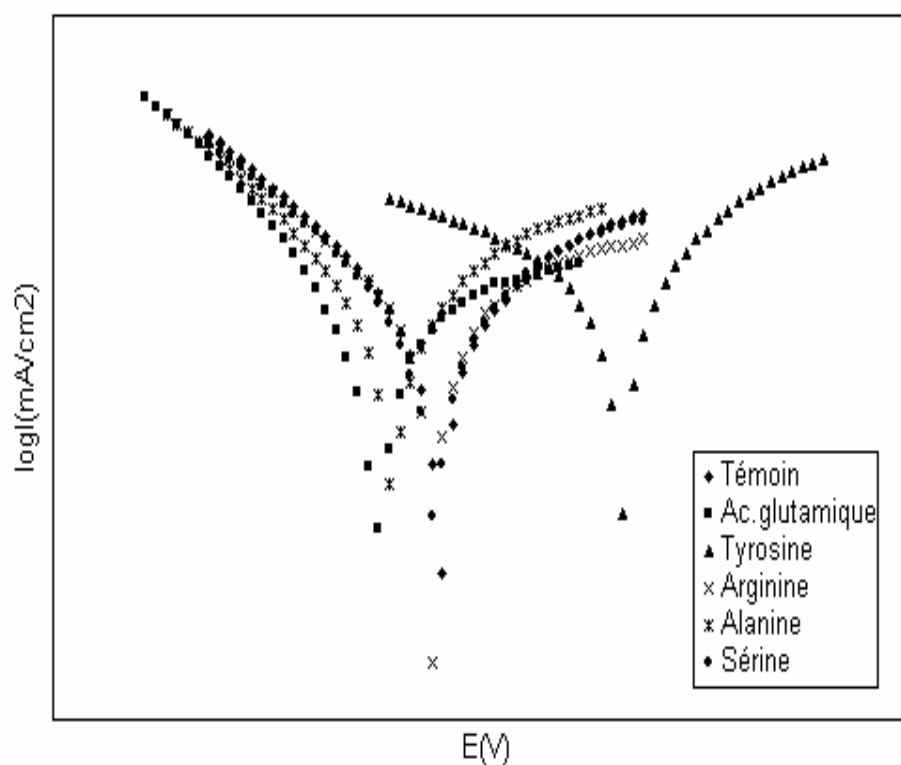


Figure 3: Courbes de Tafel avec et sans acides aminés du cuivre.

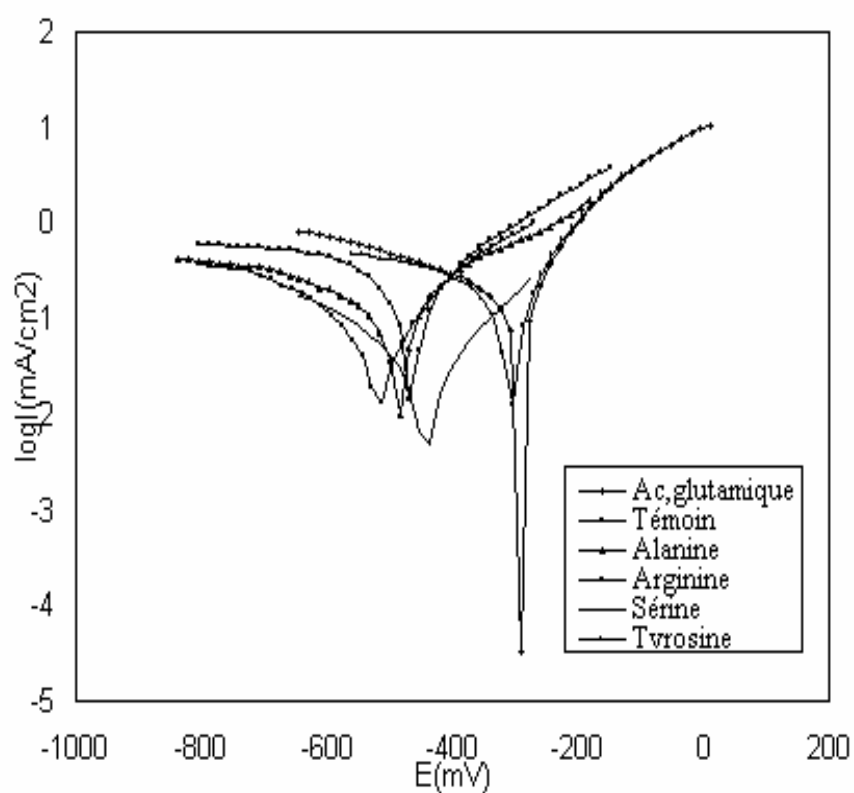


Figure 4: Courbes de Tafel avec et sans acides aminés de l'acier inoxydable

Tableau 3: Paramètres électrochimiques du cuivre et de l'acier inoxydable

	R_p (ohm.cm²)	I_{corr} (mA/cm²)
Acier inoxydable	359.49	0.1450
Cuivre	568.74	0.0952

Dans le cas du cuivre, la densité de corrosion (I_{corr}) exprimée en mA.cm⁻², et qui est directement proportionnelle à la vitesse de corrosion, augmente en présence des acides aminés à l'exception de la sérine qui probablement, inhibe la corrosion du cuivre, ce qui confirme le résultat obtenu par le potentiel abandon.

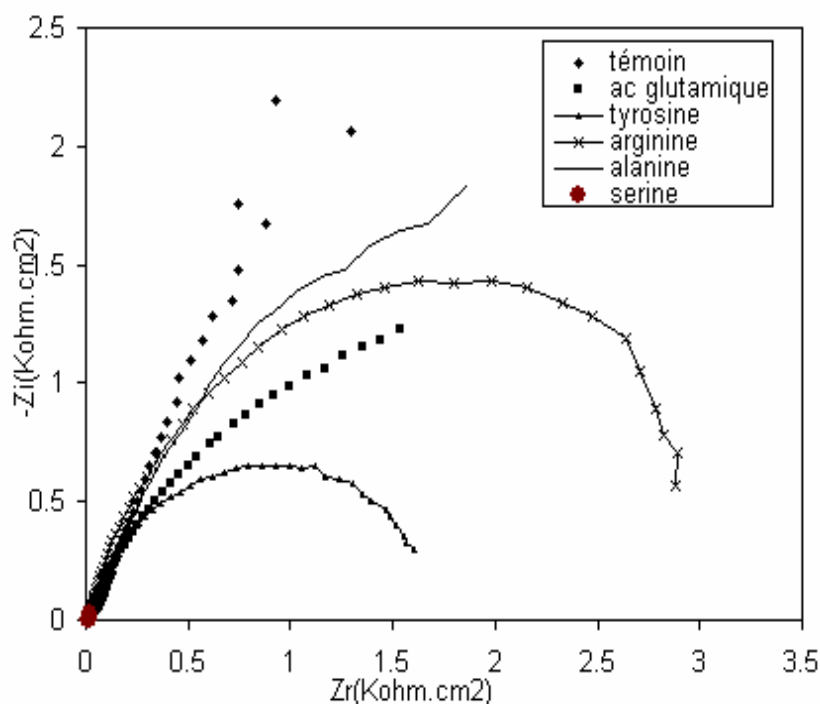
La résistance de polarisation (R_p) exprimée en ohm.cm², est inversement proportionnelle à la densité de courant de corrosion.

Dans le cas de l'acier, la situation est un peu différente, tous les acides aminés présentent une agressivité. Les densités de courant de corrosion augmentent en présence des différents acides dans le milieu.

3.3. Mesures d'impédance

La spectrométrie d'impédance électrochimique permet à partir des tracés des diagrammes pour chaque échantillon de déterminer les paramètres caractéristiques des mécanismes élémentaires de corrosion de chacun de ces matériaux. A basse fréquence, il est ainsi possible d'extrapoler la valeur de transfert de charge de la réaction électrochimique.

La figure 5 représente le diagramme d'impédance de l'acier en milieu biologique avec et sans acides aminés.

**Figure 5:** Courbes d'impédance avec et sans acides aminés de l'acier inoxydable

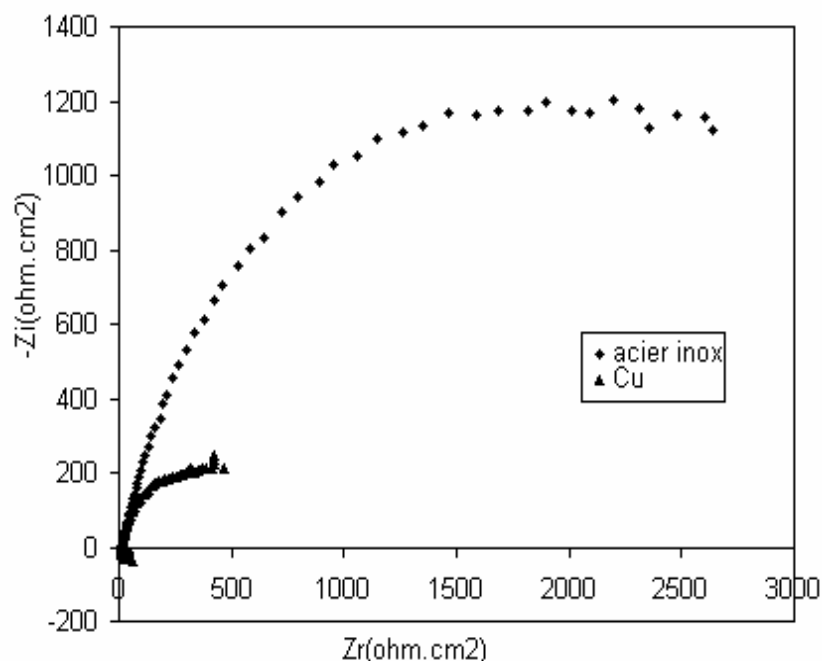


Figure 6: Courbes d'impédance de l'acier inoxydable et du cuivre

Dans tous les cas, les diagrammes ont la forme d'un cercle, dont le diamètre est proportionnel à la résistance de transfert de l'échantillon en milieu correspondant.

La résistance a diminué en présence des acides aminés, ce qui confirme les résultats précédents.

4. CONCLUSIONS

Le liquide biologique riche en acides aminés constitue un milieu agressif pour les matériaux étudiés (cuivre et acier).

En absence des acides aminés, le cuivre présente une résistance à la corrosion mieux que l'acier (Tableau 3). Les densités de corrosion sont plus élevées dans l'acier. Ce résultat est confirmé par les diagrammes d'impédance donnés par la figure 6.

Dans cette étude on a montré que les biomatériaux utilisés pour remplacer des organes dans l'organisme sont susceptibles à se corroder. Les conséquences de ce phénomène peuvent être locale (inflammation...), régionales (ganglions) et surtout générales, bien plus difficiles à préciser. Les risques du relargage d'ions métalliques peuvent être :

- les allergies
- la toxicité aiguë ou chronique
- la cytotoxicité,
- la mutagénicité,
- la cancérogenèse, etc.

Ces divers aspects peuvent conduire à des allergies plus ou moins graves ou à des phénomènes de toxicité importante.

REFERENCES

1. D.C. Smith, Williams, *Biocompatibility of dental materials*, 4 volumes, CRC Press Inc, **1982**.
2. D. Muster, *Biomatériaux et biomaterials en chirurgie osseuse et dentaire*, Editions Techniques, Encycl. Med. Chir. (Paris), 22014F10, **1993**, p. 24.
3. C. Grégoire, J.J. Guyonnet, *Evaluation de la biocompatibilité des matériaux utilisés en Odontologie : moyen et protocoles d'expérimentation*. Editions Techniques, Encycl. Med. Chir. (Paris), 23063G10, 1993, p. 6p.
4. J.M. Meyer, *Corrosion et biocompatibilité. Bilan de huit années de recherche. Conséquence et rapport : biocompatibilité et résistance à la corrosion*. Metallor, Neuchatel, **1995**.
5. K. Bonning, M. Walter, *Corrosion by differential aeration. A new approach*, Proceedings E.P.A, **16**, **1992**, p.48.
6. R. Najih, A. Chtaini, H. Latrache, A. El Bouadili, *Comparison of corrosion behavior in presence of oral bacteria.*, ITE Letters on Medicine, **5**, **2004**, p. 1.
7. L. Kinani, R. Najih, A. Chtaini, H. Latrache, A. El Bouadili, M. Safrany, *Corrosion behavior of dental alloys in presence of oral bacteria.*, ITE Letters on Medicine, **5**, **2003**, p. 5.
8. J. Van Houte, *Bacterial specificity in the aetiology of dental caries*. Int. Dent. J., **30**, **1980**, p. 305-326.
9. H. M. Keltjens, J.M. Schaeken, J.S. Van der Hoeven, *Microbial aspects of preventive regimes in patients with over dentures*. J. Dent. Res., **66**, **1987**, p. 1579-1582.
10. Ph.L. Altman, *Blood and other body fluids, analysis and complication*, Ed. D.S. Dittmer, **1961**.