

Optimisation des conditions de génération de la lubrification électrochimique des aciers inoxydables

Ce travail de recherche se concentre sur l'exploration des conditions idéales pour la lubrification électrochimique des aciers inoxydables austénitiques, en utilisant un milieu alcalin à base de bicarbonate de soude. Cette approche vise à optimiser les procédures de nettoyage des équipements de production, en particulier dans l'industrie agroalimentaire, où la sécurité alimentaire est primordiale. En cherchant à développer des films passifs sur les surfaces en acier inoxydable, cette étude examine comment différents paramètres tel que la fréquence, influence les propriétés tribologiques et chimiques de ces surfaces, avec pour objectif final d'obtenir des procédures de nettoyage durables et respectueuses de l'environnement.

K. Bouguerra⁽¹⁾,
C. Richard⁽¹⁾,
Y-M. Chen⁽²⁾,
N. Ducommun⁽³⁾,
A. Romaine⁽³⁾,
P-F. Cardey⁽¹⁾

⁽¹⁾Université de Tours,
GREMAN - UMR CNRS 7347,
Tours / France)

⁽²⁾Centre Technique des
Industries Mécaniques,
Cetim, Senlis / France

⁽³⁾Centre Technique des
Industries Mécaniques,
Cetim, Nantes / France

Figure 1.

Essai de tribo-corrosion.

Figure 2. Essai de tribo-corrosion du couple 316L/316L dans NaHCO_3 5 %, $T^\circ\text{amb}$, 2 Hz. (a) mesure de potentiel à circuit ouvert avant, pendant et après l'essai tribologique, (b) essai tribologique – coefficient de frottement.

Dans la majorité des cas de lubrification, il est prévu que les surfaces de frottement soient complètement séparées par un film de lubrifiant. Cependant, dans certaines industries comme l'industrie agroalimentaire, l'utilisation de lubrifiants et aussi de détergents pour la propreté des chaînes de production doivent être particulièrement choisis pour des raisons de sécurité alimentaire. La génération ou le développement de films passifs, en particulier sur des matériaux métalliques de type aciers inoxydables peut amener à une lubrification électrochimique permettant d'obtenir des coefficients de frottement peu élevés contrairement à un contact à sec.

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'explorer les conditions optimales de la lubrification électrochimique des aciers inoxydables austénitiques dans un milieu alcalin à base d'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) commercialement nommé : « bicarbonate de soude », afin d'optimiser ou de préconiser des routines de nettoyage durables, éco-compatibles, des équipements de production. Des paramètres, telle que la fréquence, par exemple, ont été étudiés pour évaluer leur impact sur les propriétés tribologiques de l'acier inoxydable.^{[1] [2] [3] [4]}

1. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Pour déterminer les conditions optimales de la lubrification électrochimique, des essais de tribo-corrosion ont été mis en œuvre en couplant un tribomètre TE-77

(mesure du coefficient de frottement) avec un potentiostat Biologic (mesure du potentiel à circuit ouvert – : OCP (Open Circuit Potential) – **Figure 1**.

Le contact est de type bille-plan en mouvement réciproque. Une série d'essais a été effectuée sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 %, en appliquant une charge constante, à température ambiante, et à différentes fréquences.

Toutes les mesures ont été réalisées pour une durée de 1000 secondes en corrosion (mesure du potentiel), 1000 secondes en tribologie (mesure du coefficient de frottement en fonction du temps).

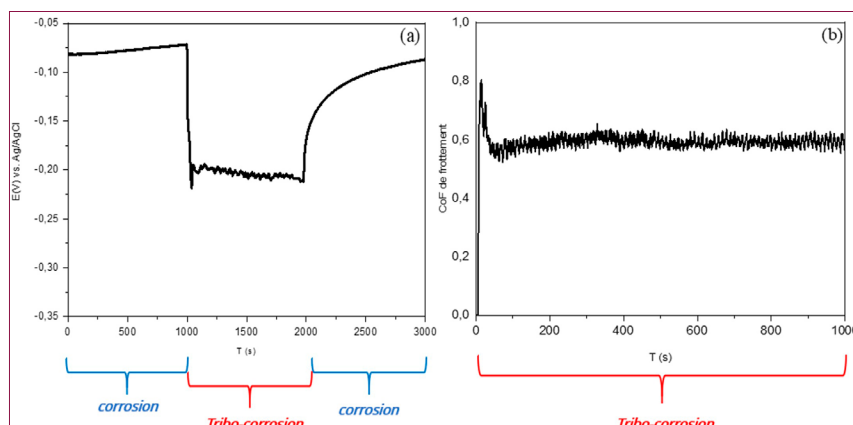
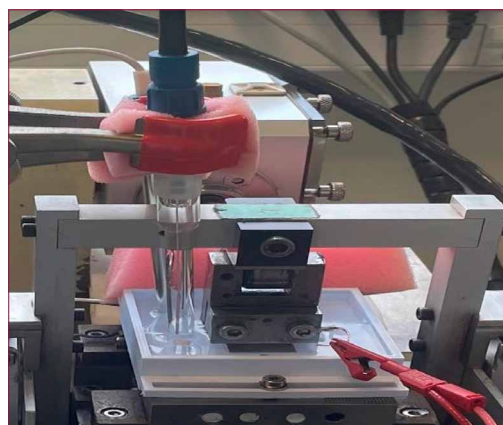
2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 Impact de la fréquence sur la lubrification électrochimique :

L'objectif de ces essais est de définir les conditions limites de fréquence avec mesure d'OCP pour le couple 316L/316L dans une solution aqueuse de NaHCO_3 5 %.

La **figure 2** montre l'essai de tribo-corrosion réalisé sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 %, à température ambiante et à une fréquence de 2 Hz.

Une stabilité de l'OCP a été observée à $-70 \text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Cependant, dès que l'essai tribologique a commencé, la valeur de l'OCP a chuté à $-210 \text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ et est restée stable jusqu'à la fin de l'essai, en parallèle. Les valeurs du coefficient de frottement et de l'OCP sont restées pratiquement constantes, avec un coefficient de frottement faible de 0,6 et un OCP de $-210 \text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. (régime de



lubrification atteint instantanément). Après la fin de l'essai tribologique, l'OCP a repris presque sa valeur initiale de $-87\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$.

La **figure 3** montre l'essai de tribo-corrosion réalisé sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 %, à température ambiante et à une fréquence de 5 Hz.

Avant le test tribologique, une mesure de la stabilité de l'OCP a révélé une valeur de $-150\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Cependant, dès que l'essai a commencé, la valeur de l'OCP a chuté brusquement de $-380\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ à $-410\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ en 160 secondes. Pendant ce temps, le coefficient de frottement a également chuté brusquement de 1 à 0,6, tandis que la valeur de l'OCP augmentait à $-350\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Ensuite, les valeurs du coefficient de frottement et de l'OCP sont restées constantes à 0,6 et $-340\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ respectivement. À la fin du test tribologique, l'OCP a presque retrouvé sa valeur initiale de $-140\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Deux hypothèses ont été proposées pour expliquer ce phénomène : soit il y a eu une étape intermédiaire entre l'état passif initial et la chute du potentiel, soit l'action de la bille a enlevé une couche qui a modifié le film passif. À la fin du test tribologique, l'OCP a presque retrouvé sa valeur initiale de $-140\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$; ce qui indique la reformation de la couche passive.

La **figure 4** montre l'essai de tribo-corrosion réalisé sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 %, à température ambiante et à une fréquence de 8 Hz.

Avant le test tribologique, une mesure de la stabilité de l'OCP a révélé une valeur de $-100\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Cependant, une fois l'essai lancé, la valeur de l'OCP a chuté entre -370 mV et $-400\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Dans le même temps, le coefficient de frottement est passé de 1,2 à 0,8. De 630 s à 1000 s d'essai, le coefficient de frottement a chuté et remonté deux fois (régime perturbé), passant de 0,9 à 0,6, avec des valeurs d'OCP respectives de $-330\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ à $-380\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. À la fin de l'essai tribologique, l'OCP s'est quasiment rétabli à sa valeur initiale de $-145\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$.

La **figure 5** montre l'essai de tribo-corrosion réalisé sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 %, à température ambiante et à une fréquence de 10 Hz.

Une mesure de la stabilité de l'OCP a indiqué une valeur de $-160\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$. Cependant, une fois l'essai tribologique lancé, la valeur de l'OCP a chuté à $-540\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$ et est restée stable jusqu'à la fin de l'essai. Pendant ce temps, le coefficient de frottement est resté pratiquement constant à une valeur élevée de 1, indiquant l'absence de lubrification (effet tribologique plus important que l'effet de corrosion). Après la fin de l'essai tribologique, la valeur de l'OCP a repris la valeur de $-240\text{ mV} / \text{Ag} / \text{AgCl}$.

2.2 Récapitulatif des conditions optimales de la lubrification électrochimique des aciers inoxydables

Le récapitulatif de l'ensemble des résultats obtenus (selon un plan d'expériences) met en évidence les conditions optimales de fréquence pour la génération de la lubrification électrochimique de l'acier inoxydable 316L dans une solution de NaHCO_3 (**figure 6**).

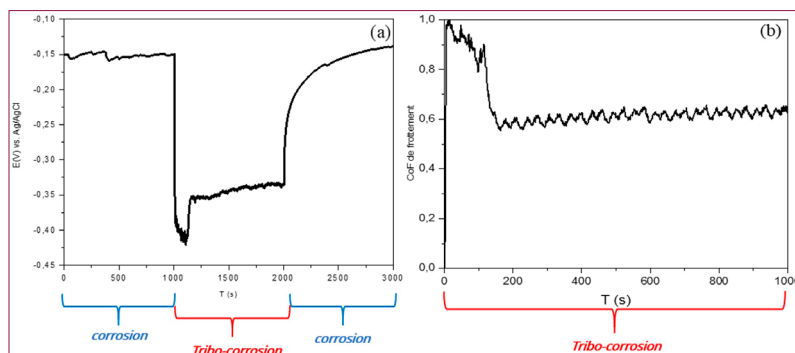


Figure 3. Essai de tribo-corrosion du couple 316L/316L dans NaHCO_3 5 %, $T^\circ\text{amb}$, 5 Hz. (a) mesure de potentiel à circuit ouvert avant, pendant et après l'essai tribologique, (b) essai tribologique – frictiogramme.

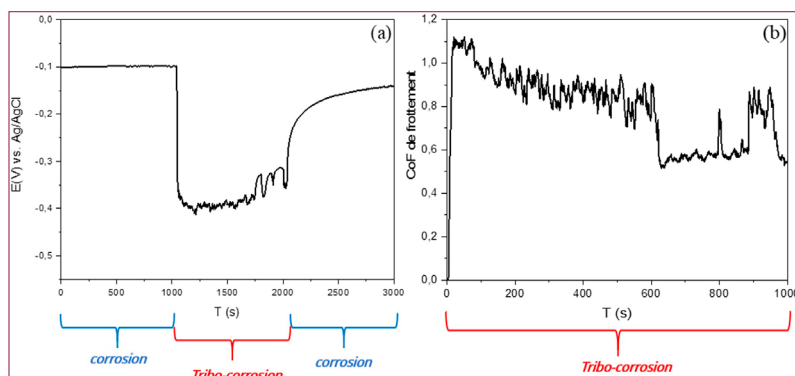


Figure 4. Essai de tribo-corrosion du couple 316L/316L dans NaHCO_3 5 %, $T^\circ\text{amb}$, 8 Hz. (a) mesure de potentiel à circuit ouvert avant, pendant et après l'essai tribologique, (b) essai tribologique – frictiogramme

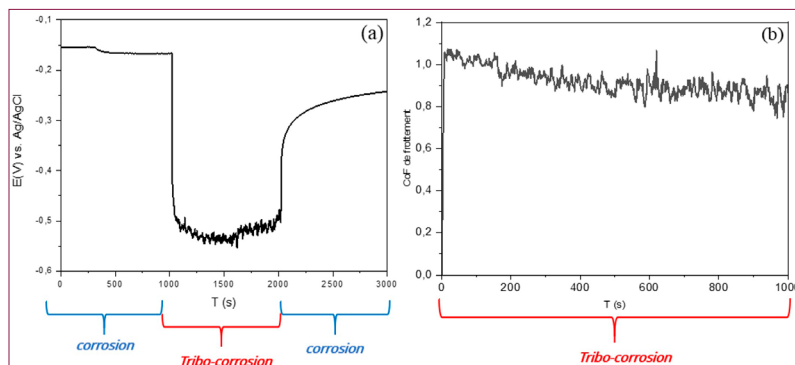


Figure 5. Essai de tribo-corrosion du couple 316L/316L dans NaHCO_3 5 %, $T^\circ\text{amb}$, 10 Hz. (a) mesure de potentiel à circuit ouvert avant, pendant et après l'essai tribologique, (b) essai tribologique – frictiogramme.

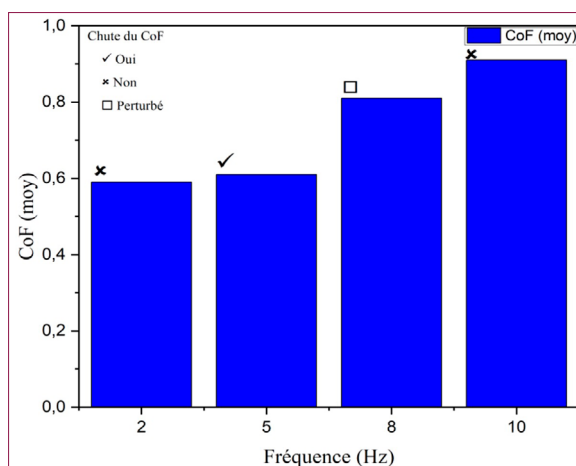


Figure 6. Variation du coefficient de frottement moyen en fonction de la fréquence

Ces conditions sont essentielles pour minimiser le frottement et garantir une lubrification efficace. Il a été constaté que la fréquence de l'essai joue un rôle critique dans le succès de la lubrification électrochimique.

À des fréquences plus élevées (8 Hz et 10 Hz), la lubrification électrochimique est moins efficace, et le coefficient de frottement augmente. Cela suggère que l'effet tribologique devient plus important que l'effet de corrosion à des fréquences élevées, perturbant ainsi la formation et le maintien de la couche passive protectrice sur la surface en acier inoxydable.

Les conditions idéales pour la lubrification électrochimique se situent à des fréquences plus basses. Il a été constaté que les meilleurs résultats sont obtenus à une fréquence de 2 Hz et un pourcentage de 5 % d'hydrogénocarbonate de sodium. À cette fréquence et concentration, le coefficient de frottement reste faible, ce qui indique que la couche passive reste intacte, assurant une lubrification efficace. De plus, une fréquence de 5 Hz avec la même concentration d'hydrogénocarbonate de sodium conduit également à des coefficients de frottement réduits.

Les résultats mettent en évidence l'impact significatif de la fréquence sur la lubrification électrochimique. Il est clair que des fréquences plus élevées ont un effet négatif sur la formation et la stabilité de la couche passive, ce qui entraîne une augmentation du frottement. En revanche, des fréquences plus basses favorisent la lubrification électrochimique en maintenant la stabilité de la couche passive. En résumé, il a été déterminé que la lubrification électrochimique des aciers inoxydables dans une solution d'hydrogénocarbonate de sodium est optimale à des fréquences basses, comprises entre 2 Hz et 5 Hz.

CONCLUSION

Les résultats des essais de tribo-corrosion sur le couple 316L/316L dans une solution de NaHCO_3 5 % ont montré des variations significatives de l'OCP et du coefficient de frottement en fonction de la fréquence d'essai, indiquant que la lubrification électrochimique est plus efficace

à des fréquences plus basses, où la couche passive reste stable, réduisant ainsi le coefficient de frottement. À des fréquences plus élevées, l'effet tribologique devient prédominant, ce qui perturbe la couche passive et augmente le coefficient de frottement. Les variations de l'OCP sont étroitement liées à la formation et à la perturbation de la couche passive. Un OCP plus élevé indique une meilleure préservation de cette couche.

Ces résultats ont des implications importantes pour les industries cherchant à améliorer leurs procédures de nettoyage et de lubrification tout en maintenant des normes élevées de sécurité alimentaire. Ils offrent un aperçu des mécanismes tribo-corrosifs des aciers inoxydables dans des environnements alcalins corrosifs et ouvrent la voie à des applications industrielles plus respectueuses de l'environnement. ■

RÉFÉRENCES

1. K. Bouguerra *et al.* Tribocorrosion study of passive films formed on the surface of the stainless steel 316L/316L couple in a sodium hydrogen carbonate solution. The European Corrosion Congress. 28th August – 1st September 2022, Berlin – Germany
2. K. Bouguerra *et al.* Correlating tribological and electrochemical characteristics of stainless steels in a basic media, SERBIATRIB'23, 18th International Conference on
3. Tribology, 17-19 May 2023, Kragujevac, Serbia proceedings. ISBN: 978-86-6335-103-5 Kragujevac: University of Kragujevac: Serbian Tribology Society.
4. K. Bouguerra *et al.* Study of a tribo corrosion phenomenon of austenitic stainless steels in an alkaline environment, THERMEC' 2023 – International Conference on Processing & Manufacturing of advanced Materials
5. July 03 – 07, 2023 VIENNA, AUSTRIA. Abstract Book <http://www.thermec2023.tugraz.at>
6. K. Bouguerra *et al.* Tribo electrochemical study of stainless steels in acidic and alkaline media, THERMEC' 2023 – International Conference on Processing & Manufacturing of advanced Materials July 03 – 07, 2023 VIENNA, AUSTRIA. Abstract Book <http://www.thermec2023.tugraz.at>

Ne manquez plus un numéro, abonnez-vous !

6 numéros an + accès illimité au site web et ses archives.

Réalisez jusqu'à 50 % d'économie !

Nos formules

France

1 an : 190 €
2 ans : 330 €

Dom-tom

1 an : 230 €
2 ans : 400 €

Étranger

1 an : 220 €
2 ans : 370 €



05 32 09 20 80

service-clients@ppimeditas.com

www.traitementsetmatériaux.fr

