



AVIS DE SOUTENANCE D'UNE THESE DE DOCTORAT

Le Doyen de la Faculté des Sciences a le plaisir d'informer le public qu'une soutenance de
thèse de Doctorat en

«Chimie Fondamentale et Appliquée»

aura lieu le 29/07/2024 à la Faculté des Sciences, Kénitra

La Thèse sera présentée par Mr EL KACIMI YOUNES

Sous le thème :

**Contribution à l'étude de la corrosion et la protection contre la corrosion des aciers dans les
bains de décapage industriels**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Titre	Etablissement
SFAIRA MOUHCINE	Président	Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès
ZAROUK ABDELKADER	Rapporteur	Université Mohammed V, Rabat
BEKKALI SAID	Rapporteur	Université Chouaib Doukkali, El Jadida
HABSAOUI AMAR	Rapporteur	Université Ibn Tofail, Kénitra
MEBROUK KHALID	Examineur	Université Euro-Méditerranéenne, Fès
ESSAHLI MOHAMED	Examineur	Université Hassan II, Settat
DKHIRECHE NADIA	Invité	Université Ibn Tofail, Kénitra
TOUIR RACHID	Co-Directeur de thèse	CRMEF, Kénitra
EBN TOUHAMI MOHAMED	Directeur de thèse	Université Ibn Tofail, Kénitra



Nom et Prénom : EL KACIMI YOUNES
Date de soutenance : 29/07/2024
Directeur de Thèse : EBN TOUHAMI MOHAMED

Sujet de thèse :

Contribution à l'étude de la corrosion et la protection contre la corrosion des aciers dans les bains de décapage industriels

Résumé:

Plusieurs dizaines de millions de tonnes d'acier sont transformées en rouille chaque année dans le monde par la corrosion. Il est communément connu que l'action destructrice du milieu ambiant sur les métaux pose d'importants problèmes techniques, économiques, voire écologiques. Cependant, ces contraintes doivent être prises en compte bien en amont qu'en aval, tant au stade de la conception des structures métalliques, surtout lors du choix des matériaux adéquats. Tant au stade du choix du traitement approprié, notamment le choix d'inhibiteur de la corrosion adapté aux matériaux à traiter.

En effet, concevoir une structure métallique revient non seulement à assurer des propriétés d'usage, mais encore à garantir la durée d'utilisation, ainsi la durée de vie escomptée.

Pour mieux cerner ces contraintes et risques liés aux traitements de surface par décapage à l'acide chlorhydrique, nous les avons mis en évidence, examinés à travers plusieurs travaux de recherches, dont une partie sont présentés dans la présente thèse de doctorat. Ces risques industriels, génèrent des pertes de propriétés mécaniques et chimique, pareillement des pertes des propriétés d'usage, la fragilisation des structures métalliques et des réductions de la durée de vie des structures métalliques ainsi que leurs durées d'utilisation.

Ainsi, tenant en compte la complexité des phénomènes de corrosion étudiés, il a fallu l'utilisation d'un grand nombre de méthodes expérimentales. En effet les essais électrochimiques ont apporté d'intéressantes indications sur le comportement à la corrosion des aciers étudiés dans la solution décapante d'acide chlorhydrique. Elles ont été également utilisées pour l'étude de la vitesse des processus de corrosion, et l'évaluation du comportement des inhibiteurs investigués en fonction du temps d'immersion. Les analyses de surfaces moyennant le Microscope Electronique à Balayage couplée à la spectrométrie à dispersion d'énergie ainsi que le Microscopie Optiques, ont été également utilisées pour déterminer la morphologie des aciers préconisés pour la Galvanisation à chaud avant et après leurs séjours dans les bains de décapage industriels. Ainsi, et pour une caractérisation fine des processus de corrosion des aciers étudiés nous avons utilisé la Profilométrie Optique.

De ce fait et pour une bonne compréhension des phénomènes intervenant dans le processus de la corrosion et afin d'apporter des informations complémentaires aux résultats issus des techniques chimiques et électrochimiques, la métallographie optique a été utilisée et a permis d'identifier la structure métallurgique, la microstructure, la texture ainsi que la taille des grains des aciers étudiés.

Ainsi, dans la première partie de cette thèse, l'étude électrochimique stationnaire et transitoires montrent que le décapage chimique à l'acide chlorhydrique s'avère efficace à l'intervalle de concentrations variant de 5.0 M à 1.0 M. Au-delà de 1.0 M d'acide chlorhydrique et en raison de la durée de décapage la solution décapante n'est plus rentable industriellement, ainsi elle doit être régénérée. D'autre part, l'évaluation du pouvoir inhibiteur de l'acier, révèle que pour les deux limites inférieur et supérieur des concentrations d'acide chlorhydrique :

- l'efficacité inhibitrice est optimale à 10^{-3} M pour toute la série des Phényltétrazoles étudiée.
- pas de variation significative du pouvoir protecteur de ces molécules inhibitrices de la corrosion de l'acier dans l'intervalle de décapage à l'acide chlorhydrique, ainsi elle passe de 91% dans HCl 5.0 M à 94% dans HCl 1.0 M.

Tenant en compte l'importance cruciale du paramètre « temps d'immersion » dans le décapage à l'acide chlorhydrique industriel, les études du temps de séjour ont permis de conclure que :

- les molécules des Phényltétrazoles étudiés sont stables dans une large gamme de temps d'immersion.
- les substrats d'acier sont bien protégés dans les bains de décapage à l'acide chlorhydrique, même après plusieurs heures de temps d'immersion, allions jusqu'à 12 heure.
- les résultats sont très souhaitables industriellement, surtout pour les structures métalliques considérablement contaminés par la rouille et couches de calamines... celle-ci nécessitant des temps de séjour beaucoup plus importantes dans les solutions décapantes.

Par la suite, et tenant en compte, la grande consommation d'énergie et des coûts associés, les industrielles n'utilisent plus des bains de décapage chauffés. Néanmoins, afin de rendre l'étude la plus complète possible, nous avons choisi d'étudier l'effet de la température qui ont montrés que :

- l'augmentation de la température induit une augmentation de l'activité inhibitrice des molécules organiques étudiés.
- L'adsorption des Phényltétrazoles obéit à l'isotherme de Langmuir. Ce modèle suppose que l'adsorption est monomoléculaire et que les interactions entre particules adsorbées sont négligeables.
- cette étude a également permis de mettre en évidence la physisorption des molécules Phényltétrazoles étudiés sur la surface à travers plusieurs paramètres thermodynamiques.

Ainsi, nous avons conclu que la série des Phényltétrazoles étudiés s'avèrent d'excellents inhibiteurs de la corrosion dans la gamme de concentration d'acide chlorhydrique industriel (1.0 M à 5.0 M). En revanche, elles ne sont pas compétitives commercialement.

Dans la deuxième partie de cette thèse de doctorat, et mise à part, l'efficacité du décapage à l'acide chlorhydrique, la performance de l'inhibiteur de corrosion et la compétitivité commerciale des molécules inhibitrices sélectionnées, les résidus de graisses, survenus des bains de dégraissage chimique, qui se situe bien en amont du bain de décapage, consiste également l'un des problèmes majeurs de l'industrie de traitement de surface, notamment le décapage chimique.

En effet, le surfactant cationique du Bromure de cetyltriméthylammonium (CTAB) abordable dans le marché national et international a des prix compétitifs, est largement utilisé comme tensioactif commercialisable depuis des décennies. Aujourd'hui, et dans le cadre de cette thèse nous avons profité de ces qualités pour piéger les résidus de graisse et les empêchés de s'étaler sur la surface des bains de décapage d'acide chlorhydrique. Nous avons également démontré que le CTAB est un excellent inhibiteur de la corrosion de l'acier dans les solutions décapantes d'acide chlorhydrique. Ça performance inhibitrice a été également améliorée pour atteindre un maximum de 99.13% par l'effet de synergie en présence de l'iodure de potassium (KI).

Dans le troisième et dernier chapitre de cette thèse, nous avons mis en évidence l'effet de la composition chimique, la taille des grains et la microstructure des aciers préconisés pour la galvanisation à chaud, sur le comportement à la corrosion ainsi que sur le mécanisme de la formulation inhibitrice de la corrosion. En effet, l'augmentation des teneurs du Silicium (Si) et Phosphore (P) dans l'acier diminue remarquablement sa tenue à la corrosion dans HCl 5.0 M. Nous avons également démontré que l'acier classe A est plus résistant à la corrosion dans l'acide chlorhydrique que l'acier classe B et C. Par ailleurs, les données métallographiques avant et après immersion dans HCl 5.0 M, nous révèle que la tenue à la corrosion de l'acier dépend de la teneur de la cémentite.

D'autre part, l'efficacité inhibitrice de la formulation inhibitrice est influencée par les teneurs en Silicium et Phosphore contenus dans l'acier. La formulation inhibitrice est nettement plus efficace sur l'acier classe A que sur la classe B. Tandis, qu'elle n'est pas recommandée pour la classe C. Ces résultats ont été confirmés par l'analyse de la morphologie de la surface métallique. En effet, en absence d'inhibiteur l'acier classe C présente des fissurations. En présence de formulation inhibitrice le film est poreux ce qui témoigne d'un détachement de la surface d'acier classe C. Par contre, pour le cas des deux classes A et B, ils sont bien protégés. Ces résultats ont été mis en évidence également par la profilométrie optique.

Ainsi, le choix des inhibiteurs de corrosion peut être dicté par des impératifs du procédé de traitement de surface, du rapport qualité/prix de celui-ci. En revanche, pour des fins pratiques il doit être fait d'une manière judicieuse afin de ne pas altéré les propriétés mécaniques et chimique, engendrant ainsi, une fragilisation des structures métalliques, qui diminue en conséquence la durée de vie, en conséquence la durée d'usage des structures métalliques.

Mots Clés : Classes d'aciers; Microstructure d'acier ; Corrosion ; Bains de décapage industriels ; Inhibition de la corrosion ; Mesures électrochimiques ; Profilométrie 3D ; MEB/EDX ; Fragilisation des structures métalliques ; Phényltétrazoles substitués ; Formulation CTAB/KI; Effet de synergie.