

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA



**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE CHIMIE INDUSTRIELLE**

PROJET DE MASTER

OPTION : TECHNOLOGIE DES MATERIAUX

**ETUDE DE L'EFFET INHIBITEUR DE TENSIOACTIFS
ANIONIQUES CONTRE LA CORROSION DE L'ALLIAGE
D'ALUMINIUM EN MILIEU ACIDE**

Dirigé par :

M^{me}. R. MAHDAOUI

Présenté par :

DJELTI AMEL

Soutenu devant le jury composé de :

M^f A. KHELIFA

Professeur

Président

USDB

M^{me} N. ALLEL

Chargé de cours

Examinatrice

USDB

M^{me} H. HAMITOCHE

Chargé de cours

Examinatrice

USDB

OCTOBRE 2011

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de tester l'effet inhibiteur de tensioactifs anioniques synthétisés à partir de coupes pétrolières algériennes tel que TAG, TAK et TAS contre la corrosion de l'aluminium en milieu acide HCl 1M. L'étude de la corrosion a été réalisée par la mesure de perte de masse (gravimétrie) et la méthode électrochimique (droites de Tafel). L'effet de la concentration en inhibiteur, du temps d'immersion et de la température sur la vitesse de la corrosion ont été déterminés ainsi que le mécanisme d'action et les paramètres thermodynamiques d'adsorption. Les résultats obtenus montrent que les produits utilisés possèdent un pouvoir inhibiteur remarquable contre la corrosion de l'aluminium en milieu acide et les valeurs des efficacités inhibitrices atteignent jusqu'à 97% .

Abstract

The objectif of our work is testing if our surface active anionique synthesized from the Algerian oil cuts are inhibitor of Aluminum corrosion in acide environnement of HCl and determination of the optimale concentration of this substances which decrease the corrosion and studying the effect of the concentration and the temperature on corrosion swiftness. The effects of the concentration in inhibitor, the temperature and the time of dumping on the speed of corrosion were examined as well as the mechanism of action. The obtained results show that of the highly-rated of the electrochemical corrosion, our produces significantly the speed of corrosion of the aluminium used for the tests.

بترولية جزائرية من

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى قدرة المواد ذات النشاط السطحي المحضرة
الألومينيوم

1

تاكل درست باستعمال طريقة الوزن و الطريقة الكهروكيميائية , تأثير التركيز
الحرارة بالاضافة الى طريقة عمل المركب

النتائج المحصل عليها تبين ان المواد المستعملة ذات فعالية و تصل الى 97

Résumé

L'étude entreprise dans ce travail est de tester l'effet inhibiteur de tensioactifs anioniques synthétisés à partir de coupes pétrolières algériennes. vis-à-vis la corrosion de l'alliage d'aluminium 2017 dans un milieu acide de HCl 1M. L'étude de la corrosion a été réalisée par l'étude de perte de masse (gravimétrie) et l'étude de courbes potentiodynamiques (courbes de Tafel) et évaluer la stabilité et l'efficacité inhibitrice de ces produits à différentes températures.

Abstract

The objectif of our work is testing if our surface active anionique synthesized from the Algerian oil cuts are inhibitor of Aluminum corrosion in acide environnement of HCl and determination of the optimale concentration of this substances which decrease the corrosion and studying the effect of the concentration and the temperature on corrosion swiftness.

بتروولية جزائرية من
معرفة التركيز

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة مدى قدرة المواد ذات النشاط السطحي المحضرة
الألومينيو
1
المثالي لكل مزيل و هذا باستعمال طريق كلاسيكية و أخرى كهر و كيميائية

II.1.Introduction :

La nature électrochimique des phénomènes de corrosions en milieu aqueux résulte du transfert de charge ou de matière à l'interface métal/solution. Les divers modes de protection doivent agir par conséquent soit sur le métal, soit sur la solution ou les deux à la fois. D'une façon générale, les moyens de protection utilisés actuellement sont nombreux, très différents et parfois complémentaires, ils peuvent être classés selon les catégories suivantes :

II.2. La protection cathodique :

La protection cathodique qui est une méthode très employée consiste à prévenir la dissolution du métal par abaissement de son potentiel électrochimique soit au moyen d'anodes sacrificielles, soit à l'aide de générateurs électriques.

II.3. La protection anodique :

La protection anodique repose quant à elle sur la propriété qu'ont certains métaux de se passiver dans un milieu donné lorsqu'ils sont convenablement polarisés dans le domaine anodique, cette protection est réalisée soit électriquement soit au moyen d'un inhibiteur.

II.4. Application des revêtements :

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de planification ; en d'autres mots, on doit prendre en considération la corrosion depuis le début d'un projet et jusqu'à sa réalisation. La lutte contre la corrosion se fait par la prévention par un choix judicieux des matériaux [6]

un revêtement et un liquide, produit liquéfiable, ou un composé de mastic que , après application sur une surface, se transforme en une pellicule protectrice solide, décorative, ou utilitaire tel que le revêtement minéral et organique- peintures, revêtement métallique et non métallique .

II.5. Les inhibiteurs de corrosion :

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique ajouté au milieu corrosif, susceptible, par action physique ou chimique à l'interface, d'inhiber, c.à.d. de ralentir ou de stopper l'une des deux réactions anodiques ou cathodiques mises en œuvre dans le processus de corrosion ou bien encore les deux. Cet additif doit être utilisé en faible quantité afin de ne pas modifier les propriétés physico-chimiques du milieu. L'inhibiteur peut contribuer à former des films

superficiels qui s'opposeront au transfert des espèces vers la surface du métal ou à partir de cette surface, l'inhibiteur pourra également modifier le mécanisme réactionnel conduisant par exemple à la dissolution du métal. On distingue, selon une classification acquise, des inhibiteurs anodiques, des inhibiteurs cathodiques, des inhibiteurs mixtes [7].

II.5.1. Propriété essentiel d'un inhibiteur de corrosion :

En dehors de tout mécanisme d'action, un inhibiteur de corrosion doit vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales [8].

- Abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physicochimiques de ce dernier.
- Etre stable en présence d'autre constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants, tels certains biocides.
- Ne pas modifier la stabilité des espèces contenues dans le milieu, par exemple en provoquant l'apparition d'émulsions, voire de mousse.
- Etre stable à la température d'utilisation.
- Etre efficace à faible concentration

II.5.2. Les classes d'inhibiteurs :

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs, des classements simples peuvent être proposés : [8]

- Par réaction partielle.
- Par domaine d'application
- Par mécanismes réactionnels
- Par formulation des produits

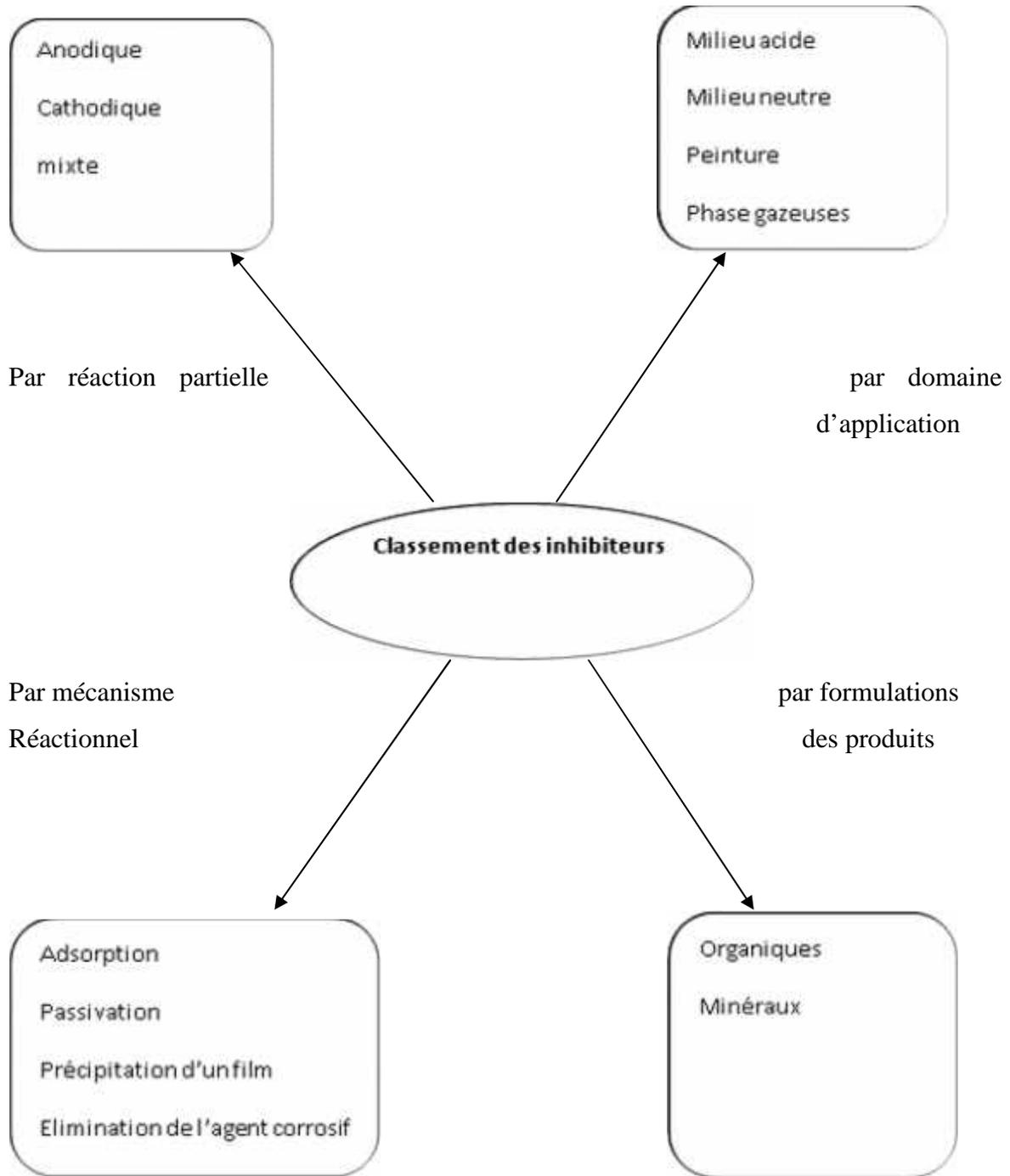


Figure II.1 : schéma représentant le classement des inhibiteurs de corrosion

II.5.2.a. Par réaction partielle (inhibiteurs cathodiques, anodique ou mixte) :

Cet inhibiteur tient compte de la nature électrochimique de la corrosion en phase liquide, qui met en jeu au moins deux réaction

- Une réaction anodique de dissolution du métal, par exemple :



- Une réaction cathodique de réduction d'oxydant de la solution :



Ou :



Le rôle d'inhibiteur sera nécessairement de diminuer la vitesse d'une des deux réactions et dans certains cas des deux à la fois. Si l'inhibiteur ralentit la réaction anodique, il est appelé inhibiteur anodique. De la même façon, on distingue des inhibiteurs cathodiques et des inhibiteurs mixtes, ces derniers agissant à la fois pour diminuer la vitesse de la réaction anodique et celle de la réaction cathodique.

II.5.2.b. Par domaine d'application :

- ***Inhibiteur pour milieu acide :***

Sont employés, entre autre, pour éviter une attaque chimique de matériau.

- ***Inhibiteur pour milieu neutre :***

La corrosion de milieu neutre est normalement due à l'oxygène dissous, servent surtout à protéger des circuits d'eau de refroidissement.

- ***Inhibiteur pour phase gazeuse :***

Sont généralement employés pour une protection temporaire des différents objets emballés pendant le transport et le stockage : instrument de précision, composant électronique, machine, etc.

II.5.2.c. Par mécanisme réactionnel (inhibiteurs d'adsorption ; inhibiteurs formant des films tridimensionnels) :

C'est le troisième mode de classement des inhibiteurs, qui différencie ceux-ci à partir de leur mode de fixation sur la surface métallique. Les inhibiteurs d'adsorption, c'est-à-dire ceux qui agissent en formant des films de molécules adsorbées à la surface du métal, sont plutôt utilisés en milieu acide, alors que les inhibiteurs forment des films tridimensionnels de produits de réaction sont spécifiques des milieux neutres ou alcalins.

II.5.2.d. Par formulation des produits (inhibiteur organique, inhibiteurs minéraux) :

- ***Les inhibiteurs minéraux :***

Ces molécules sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voir milieu alcalin, plus rarement en milieu acide. Ces produits sont plus ou moins dissociés en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation (anion ou cation) qui sont efficaces en tant qu'inhibiteurs de corrosion. Parmi les anions inhibiteurs, on trouve essentiellement les

oxyanions de type XO_4^{n-} (chromates , molybdates , phosphates , silicates , etc.) et d'autre sont essentiellement ceux (Ca^{2+} , Zn^{2+}) qui forment des sels insolubles avec des anions , tels que l'anion hydroxyde (OH^-) , par exemple.

➤ **Les inhibiteurs organiques :**

Ils ont à l'heure actuelle les faveurs des utilisateurs en raison d'une plus faible écotoxicité que celle des inhibiteurs minéraux. Ils renferment au moins un atome servant de centre actif pour leur fixation sur le métal (azote : amines , ammoniums quaternaires, amides , imidazolines-soufre : sulfonâtes , dérivés de la thiourée , mercaptans , sulfoxydes , thiazoles oxygène , alcools acétylénique , carboxylates_ phosphore: phosphonates). L'une des limitations dans l'utilisation de ces produits peut être l'élévation de température, les molécules organiques étant souvent instables à chaud [8].

II.6. Mode d'action des inhibiteurs :

Les inhibiteurs organiques agissent souvent par adsorption physique ou chimique, cette dernière se traduisant souvent par une grande efficacité de l'inhibition, due à la mise en jeu d'énergies d'adsorption très fortes. Leur action peut être soit anodique (blocage des sites actifs), soit cathodique (formation d'un film isolant) ou mixte.

Il y a plusieurs origines au phénomène d'adsorption. On peut distinguer :

-La charge superficielle sur le métal (charge de double couche), qui provoque une interaction électrostatique de cations ou d'anions.

-Le groupement fonctionnel et la structure de l'inhibiteur, qui permettent soit la formation de complexe entre les ions et le métal et certains groupements (composés soufrés, azotés ou oxygénés), soit des interactions entre électrons des liaisons insaturées et zones cathodiques du métal.

-Les interactions entre espèces adsorbées, qui peuvent être à l'origine des effets synergiques observés dans le cas de certains mélanges d'inhibiteurs.

II.6.1. Types d'adsorption :

L'adsorption de la molécule inhibitrice, soit sous sa forme neutre, soit sous sa forme ionisée, à la surface du métal, est un stade essentiel du mode d'action de l'inhibiteur. Cette adsorption peut être physique (liaison électrostatique) ou chimique (liaison covalente), et elle est influencée par la nature et la charge du métal, la structure chimique du produit organique et le type d'électrolyte [9].

II.6.1.1. La physisorption :

C'est la charge électrique de la surface comparée à la charge portée par le dipôle ou l'ion inhibiteur qui fixe la force de la liaison d'adsorption. La charge du métal est définie par la position du potentiel de corrosion de ce métal par rapport à son potentiel de charge nulle E_0 . Lorsque le potentiel de corrosion de ce métal a une valeur inférieure à E_0 , l'adsorption des cations est favorisée. Les anions des inhibiteurs sont adsorbés aisément quand le potentiel de corrosion du métal se trouve dans la région de potentiel positif par rapport à E_0 .

II.6.1.2. La chimisorption :

C'est la comparaison entre le niveau d'énergie des orbitales vides (en principe) des atomes métalliques superficiels et le niveau d'énergie des orbitales pleines de l'espèce inhibitrice, ainsi que la symétrie de ces orbitales, qui fixe la stabilité de la liaison chimisorption.

Il est en générale admise que le processus d'adsorption chimique met en jeu un transfert ou un partage d'électrons entre les molécules d'inhibiteur et les orbitales « d » vacantes de la surface du métal. Ceci permet de former des liaisons de coordination ou des liaisons covalentes.

La chimisorption est un phénomène irréversible et spécifique pour chaque métal. C'est un processus lent, dépendant de la température et caractérisé par une grande énergie d'activation.

II.6.2. Structure moléculaire des inhibiteurs

Parmi les inhibiteurs pour solutions acides, on trouve un grand nombre de substances organiques différentes, notamment des molécules aromatiques et des macromolécules à chaînes linéaires ou branchées [10-26]. Ils s'adsorbent sur les sites actifs de la surface métallique, sans altérer le mécanisme des réactions électrochimiques partielles. Ils bloquent les sites et réduisent la vitesse de la réaction cathodique, anodique ou les deux en relation avec le pourcentage des sites actifs recouverts par l'inhibiteur. Leur efficacité dépend, de leur structure moléculaire et de leur concentration.

Les molécules organiques utilisées comme inhibiteurs, contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie non polaire, hydrophile, qui se lie à la surface, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels que - NH₂, - SH, - OH, - PO₃²⁻...

II.6.3. influence de la densité électronique

Pour une série de molécules organiques qui ne diffèrent que par leurs atomes fonctionnels, l'efficacité de l'inhibition varie inversement avec l'électronégativité de ces atomes fonctionnels. Elle augmente donc dans l'ordre :



II.6.4. Isothermes d'adsorption :

La relation entre la quantité de substance adsorbée sur l'électrode par unité de surface, son activité dans la solution et l'état électrique du système, à une température donnée, est donnée par l'isotherme d'adsorption. Celle-ci est obtenue à partir de la condition d'égalité des potentiels électrochimiques (état d'équilibre) de la substance en solution d'une part, et à l'état adsorbé d'autre part.

Les isothermes d'adsorption sont très importantes dans la détermination du mécanisme des réactions organo-électrochimiques. Les plus connus sont les isothermes de : Langmuir, Frumkin, Temkin, etc.

Toutes ces isothermes sont de la forme générale :

$$f(x, \theta) \exp(-2a\theta) = KC$$

Où $f(x, \theta)$ est le facteur configurationnel qui dépend du modèle physique et des hypothèses formulées pour l'isotherme.

θ : le taux de recouvrement.

C : La concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte.

x : la proportion du facteur de dimension.

K : la constante d'équilibre du processus d'adsorption.

a : le paramètre d'interaction moléculaire.

Les isothermes les plus rencontrées dans l'inhibition acide par les composés organiques sont :

II.6.4.1. Isotherme de Langmuir :

Ce modèle néglige toute interaction entre les espèces, et considère une adsorption par blocage géométrique de sites, l'équation de l'isotherme est de la forme :

$$\theta / (1 - \theta) = K C_{inh}$$

En effet, cette isotherme implique les hypothèses suivantes :

1. il n'y a pas d'interaction entre les espèces adsorbées à la surface de l'électrode.
2. il n'y a pas d'hétérogénéité de surface.

3. pour des activités élevées dans la solution, il y a recouvrement à saturation de l'électrode par l'espèce adsorbée.

Toutefois, les interactions entre les espèces adsorbées compliquent le problème. Ainsi, les isothermes qui tiennent compte de cette situation sont les isothermes de Temkin ou de Frumkin selon le cas.

II.6.4.2. isothermes de Temkin :

L'isotherme de Temkin est exprimée par l'équation suivante :

$$\ln(-2a) = KC$$

L'isotherme de Temkin peut être représentée par la variation de $\ln(-2a)$ en fonction de $\ln C$.

Cette variation doit être linéaire. La valeur de a caractérise l'attraction ou la répulsion entre les espèces adsorbées.

II.6.4.3. Isotherme de Frumkin :

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante :

$$\ln \left[\frac{a}{C} (-1) \right] = \ln K + 2a$$

Le paramètre a possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/cm³, il exprime la manière dont un recouvrement accru modifie l'énergie d'adsorption de l'espèce. Si a est positif, les interactions entre deux espèces à la surface sont attractives, si a négatif, les interactions sont répulsives, si $a \rightarrow 0$, l'isotherme de Frumkin se rapproche de l'isotherme de Langmuir.

II.7.les inhibiteurs sous forme de tensioactifs :

Les tensioactifs sont définis comme des molécules organiques amphiphile, d'origine naturelle, ou plus souvent synthétique, comprenant deux groupements, un groupement hydrophile polaire et un groupement hydrophobe, comme illustré sur la figure II.2.

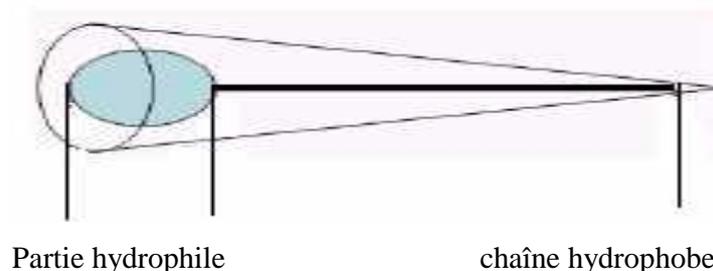


Figure II.2 : Représentation d'une molécule de tensioactif

Le groupement hydrophobe est en générale un ou plusieurs chaines hydrocarbonées : aliphatique, linéaires ou ramifiées, aromatique ou encore alkyl aromatique. Ce groupe hydrocarboné, peut contenir éventuellement des atomes d'halogène, et même des atomes d'oxygène. Le caractère hydrophobe, croit généralement avec le nombre d'atomes de carbone et diminue avec le nombre d'insaturation. Les groupements hydrophobes sont issus de trois sources principales : la pétrochimie, les huiles végétales et les graisses animales.

Le groupement hydrophile (aussi appelé tête polaire compatible avec l'eau) est constitué d'un ou plusieurs groupements polaire, contient des hétéro-atomes comme O, S, P ou N, qui se trouvent dans des groupes alcool, thiol, acide, sulfate, sulfonâtes, phosphate, amine, amide, etc [27], c'est la raison pour laquelle on appelle également les tensioactifs agents de surface ou surfactants de l'anglais « surface active agents ».[28]

Le comité international des dérivés tensioactifs (CID, 1972) a défini un agent de surface comme étant un composé chimique qui dissout ou dispersé dans un liquide, est préférentiellement adsorbé a une interface, ce qui détermine des propriétés physico-chimiques ou chimiques d'intérêt pratique [29], ces propriétés se traduisent par différents pouvoirs : mouillant, émulsionnant, moussant, solubilisant, détergent, dispersant.

II-7.1. Les différentes classes des tensio-actifs :

Il existe quatre grandes classes de tensioactifs : les anioniques, les cationiques, les amphotères et les non-ioniques. Quel que soit le groupement hydrophile de la molécule, la queue hydrophobe est constituée par une chaîne alkyle dite chaîne grasse.

Si la tête polaire liée de façon covalente à la queue hydrophobe du tensioactifs port une charge négative ($-\text{COO}^-$, $-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_4^-$, etc.) le tensioactif est dit anionique. Les savons, les alkyl-benzènes, les sulfonâtes, les sulfates d'alcool gras, sont anioniques. Si la tête polaire porte une charge positive, l'agent de surface est cationique. Les sels d'ammonium quaternaire constituent un exemple de cette catégorie.

Les tensioactifs non ioniques sont constitués d'une tête polaire non ionisable en solution aqueuse. La formation de liaison hydrogène entre les molécules d'eau et certaines fonctions du groupement hydrophile, les rendent solubles. Dans cette catégorie, se retrouvent principalement les alcools ethoxylés, les esters de sucre et les alcanolamides.

Les amphotères sont des composés ayant une molécule formant un ion dipolaire, c'est le cas des tensioactifs a base acides aminés [30].

II.8. Les techniques d'évaluation de la corrosion :

Le transfert de charge qui se déroule à une interface entre une électrode et un électrolyte intervient à la suite d'une succession de phénomènes élémentaires plus ou moins fortement Couplés :

-transport des espèces réactives au sien de l'électrolyte est souvent associé à des réactions chimiques dans ce dernier

-adsorption des espèces réactives sur l'électrode

-réactions chimiques et électrochimiques interfaciales se déroulant souvent en plusieurs étapes mono électroniques.

Le but de l'électrochimiste est donc d'analyser un mécanisme interfacial par une identification chimique et une caractérisation cinétique des intermédiaires réactionnels, soit d'estimer une quantité caractéristique d'un processus (exemple : Vitesse de corrosion ou de dépôt) à partir de la mesure d'une grandeur bien définie c'est la méthode gravimétrique. Aussi pour démêler les couplages entre le transport de matière et les réactions inter faciales ou pour effectuer un test, on doit souvent utiliser une technique capable d'extraire des informations durant le déroulement du processus électrochimique.

Le choix d'une technique dépend du but que l'on poursuit, soit établir un mécanisme réactionnel, c'est-à-dire tester un modèle, soit déterminer les paramètres cinétiques d'un mécanisme connu ou du moins supposer tel.

II.8.1. La gravimétrie :

Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids P subit par un échantillon de surface S , pendant le temps t d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante.

II.8.2. Technique électrochimique :

II.8.2.1. évaluation du potentiel en fonction de temps ($e=f(t)$) :

Cette tension exprime la différence de potentiel entre la solution et le métal. Le potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence. Il est défini par rapport à l'égalité des vitesses des réactions élémentaires d'oxydation et de réduction qui se produisent à la surface du matériau lorsqu'il est émergé dans la solution.

La détermination de cette tension est indispensable avant chaque mesure électrochimique, son évaluation dans le temps fournit une indication sur les aptitudes de l'échantillon à la réactivité ou à la passivité et traduit la cinétique d'évaluation du matériau vers un état stationnaire, tout dépend des conditions expérimentales.

La mesure de potentiel de corrosion indique le type d'inhibiteur (anodique ou cathodique) suivant le sens de déviation du potentiel mesuré en absence d'inhibiteur. Si l'inhibiteur est un caractère mixte, aucune indication n'est donnée par la faible variation du potentiel.

II.8.2.2. courbes de polarisation :

Pour déterminer une courbe de polarisation potentiostatique, on applique, à l'aide d'un potentiostat, différents potentiels entre l'électrode de travail et une électrode de référence. On mesure le courant stationnaire qui s'établit après un certain temps dans le circuit électrique entre cette électrode de travail et une contre-électrode.

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}), les pentes de Tafel, la résistance de polarisation (R_p), les courants limites de diffusion.... Elle donne des mesures rapides et sa mise en œuvre est relativement simple.

II.8.2.2.1. principe:

Le tracé des courbes intensité-potential stationnaires est très délicat, et dans la plupart des cas l'état stationnaire est assez lent à s'établir. Pour cette raison, on peut effectuer des tracés en faisant varier linéairement le potentiel à une vitesse relativement lente (mode potentiostatique) de façon à obtenir un courant quasi-stationnaire.

Cette méthode permet une mesure rapide des vitesses quasi-instantanées de corrosion. Elle est suffisamment sensible et précise pour déterminer à la fois les fortes et faibles vitesses de corrosion et elle est relativement aisée de la mettre en œuvre dans le cadre d'un laboratoire.

Le potentiel imposé au métal est toujours fourni par un potentiostat, il varie linéairement avec le temps. Au début de l'expérience le métal constitue la cathode de la cellule, le potentiel qui lui est appliqué devient de plus en plus positif si bien qu'à partir d'un certain potentiel, le métal constitue l'anode de la cellule. Par convention, on admet que l'intensité du courant est négative quand le métal est cathode, positive lorsqu'il est anode.

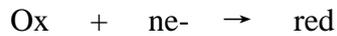
La détermination de la vitesse de corrosion à partir des courbes de polarisations est étroitement liée à la cinétique régissant le processus électrochimique interracial. On distingue trois principaux types de cinétique:

- Une cinétique d'activation pure.

- Une cinétique de diffusion pure.
- Une cinétique mixte (activation + diffusion).

II.8.2.3. cinétique d'activation pure:

Soit une réaction électrochimique:



L'équation fondamentale de Butler-Volmer appliquée à ce système s'écrit:

$$I = I_{ox} - I_{red}$$

$$I = I^0 \left[\exp \frac{((1-s)nF\Delta E)}{RT} - \exp \frac{((-s)nF\Delta E)}{RT} \right]$$

I : intensité du courant global correspondant à la surtension E .

I_{ox} : intensité du courant d'oxydation.

I_{red} : intensité du courant de réduction.

I^0 : courant d'échange correspondant à l'équilibre.

s : coefficient de transfert.

R : constante des gaz parfaits.

T : température absolue.

F : faraday.

n : nombre d'électrons mis en jeu.

La différence entre le potentiel de corrosion de l'électrode étudiée et le potentiel qu'elle prend lorsqu'un courant I de polarisation lui est imposée est appelée "surtension: E ". La courbe intensité-potentiel traduit donc, en fonction de la surtension cathodique ou anodique. Si l'on prend le logarithme de l'équation, on obtient l'équation bien connue de Tafel:

$$E = b \text{Log } I + b' \text{Log } I^0$$

Qui montre la linéarité entre le potentiel et le logarithme de l'intensité.

Quand E est nulle $E = E_{eq}$, on a alors: $I = I^0$, ainsi l'extrapolation de la droite de Tafel au potentiel d'équilibre fournit le courant d'échange I^0 . De même pour

$E = E_{corr}$, l'extrapolation conduit à la détermination du courant de corrosion I_{corr} , comme le montre la figure II.2

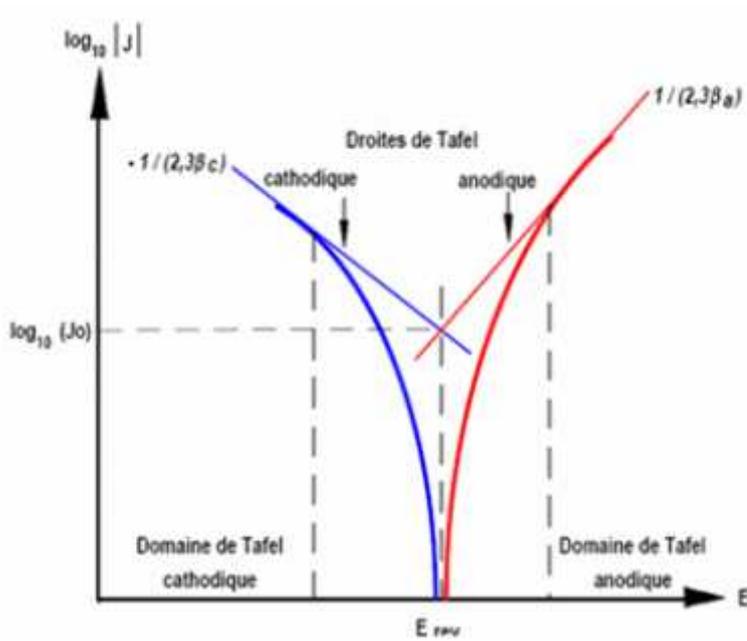


Figure II.3 : détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

II.8.2.4. cinétique de diffusion pure:

Quand le processus de corrosion est régi par une cinétique de diffusion pure, la courbe individuelle cathodique présente un palier de diffusion correspondant à l'intensité limite de diffusion i_L . Dans ce cas la courbe individuelle anodique coupe la courbe cathodique au niveau de palier de diffusion (Figure II.3).

Le courant de corrosion tend aisément vers le courant limite: $i_{corr} = i_L$

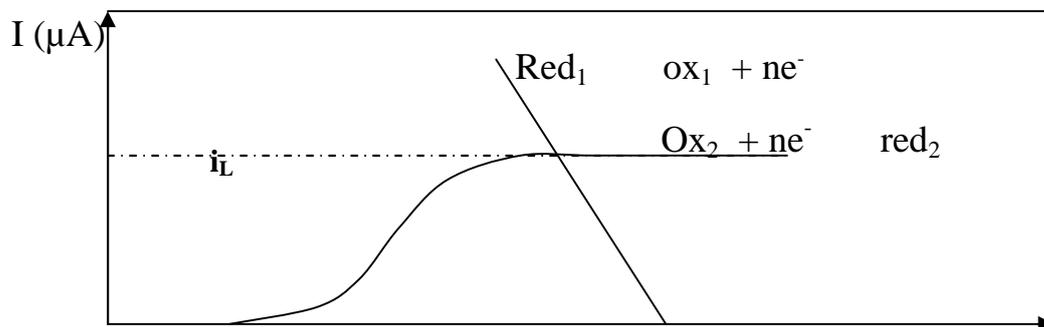


Figure II.4. Courbe $I = f(E)$ caractéristique d'une cinétique de diffusion pure.

II.8.2.5. cinétique mixte:

Quand le processus électrochimique de corrosion est sous un contrôle mixte d'activation-diffusion, les courbes individuelles ne se coupent pas au niveau du palier de diffusion mais dans la partie ascendante de la courbe cathodique.

Dans ce cas, si l'on considère l'intensité limite de diffusion i_L , on obtient une valeur par excès du courant i_{corr} . D'autre part, du fait de l'influence de la diffusion, la droite de Tafel ne peut être directement mise en évidence dans le domaine cathodique. Cependant, on peut faire apparaître la droite de Tafel en effectuant une correction de diffusion.

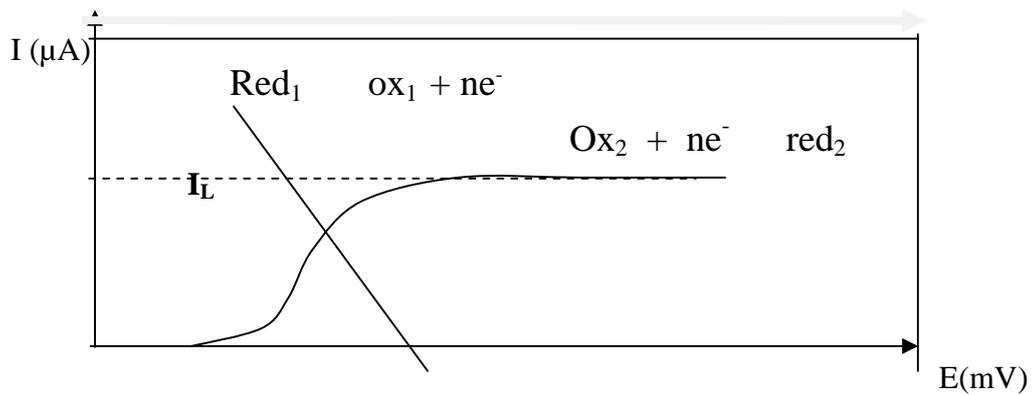


Figure II.5. Courbe $I=f(E)$ caractéristique d'une cinétique mixte

III.1 Généralités sur l'aluminium :

L'aluminium est un métal blanc argenté très malléable, de masse volumique $2,7 \text{ g/cm}^3$, qui fond à $660 \text{ }^\circ\text{C}$ et bout à $2\,056 \text{ }^\circ\text{C}$. Bon conducteur de l'électricité et de la chaleur, il résiste bien à la corrosion atmosphérique grâce à la formation d'une fine couche superficielle d'oxyde amorphe. Trivalent dans ses composés, l'aluminium est un métal amphotère attaqué par les acides (chlorhydrique, perchlorique, sulfurique) et par les bases fortes. Il a une très grande affinité pour l'oxygène et est utilisé comme agent réducteur dans les réactions d'aluminothermie. Très répandu dans la nature, puisqu'il représente 8 % de l'écorce terrestre, l'aluminium est extrait essentiellement de la bauxite et des latérites. Pur, il se prête à certaines applications; toutefois, en raison de sa faible résistance mécanique, on a souvent intérêt à utiliser ses alliages. L'aluminium, dont la production industrielle a commencé au début du siècle seulement, est devenu le métal le plus utilisé après le fer et l'acier. La production mondiale d'aluminium (qui double tous les huit ans) a atteint 22,5 millions de tonnes (première fusion) en 1998. Les prix de l'énergie entrant pour 30 % dans le coût de fabrication de l'aluminium, son évolution est étroitement liée à celle de la conjoncture [31].

Exposé à l'air, l'aluminium se recouvre instantanément d'une couche d'alumine mince ($0,01 \mu\text{m}$), transparente, continue, adhérente, étanche, autocicatrisante et protégeant le métal contre une oxydation ultérieure. Il a généralement une bonne résistance dans les solutions aqueuses dont le pH est compris entre 4 et 9; dans ces solutions, le film d'oxyde naturel reste relativement stable. Dans des solutions plus fortement alcalines ou acides, en revanche, le film est moins stable et la résistance à la corrosion diminue. En ce qui concerne son comportement vis-à-vis de la corrosion atmosphérique, l'aluminium résiste très bien aux ambiances rurales et marines et correctement à l'atmosphère industrielle, dans des proportions dépendant du ou des polluants. Par ailleurs, l'aluminium est non toxique et satisfait aux exigences imposées par la législation [32].

III.2 Alliages d'aluminium :

III.2.1 Présentation :

Tout d'abord, l'élément fondamental de la résistance à la corrosion est cette fois le métal de base et non plus les éléments d'alliages.

Ensuite, la résistance à la corrosion n'est, dans l'ensemble, pas très différenciée ; il en résulte que, pour un très grand nombre d'alliages, la justification de leur existence ou de

leur emploi n'est pas la résistance à la corrosion mais une toute autre propriété: propriété d'emploi comme la conduction thermique ou électrique, les caractéristiques mécaniques, la densité (en réalité le rapport résistance/densité), ou encore propriété de mise en œuvre comme l'aptitude au filage, au moulage, au soudage, au polissage, à la gravure, à l'anodisation, etc.

Dans les alliages pour anode sacrificielle, la fonction recherchée est même, à l'inverse, la dissolution du métal.

En fin, les éléments d'alliages présents à la fois en solution solide et sous forme de précipités de phase intermétallique ; pour certains alliages, et en particulier pour les alliages à haute résistance des séries 2000 et 7000, il en résulte que la résistance à la corrosion est intimement liée à l'état métallurgique de l'alliage, et donc aux caractéristiques mécaniques correspondantes [33].

III.2.2 Appréciation des milieux corrosifs :

L'aluminium est un métal amphotère, et donc capable de se dissoudre à la fois en milieu acide, sous forme de cation Al^{3+} , en milieu alcalin sous forme d'anion AlO_2^- . Il en résulte que, d'une manière générale, la résistance à la corrosion des alliages d'aluminium se limite au milieu neutre ou proche de la neutralité ($4 < pH < 9$).

Dans ce milieu, les alliages d'aluminium sont naturellement passifs. Toute fois, en présence de chlorures (ou d'autres halogénures), les alliages d'aluminium peuvent aussi subir divers types de corrosion localisée, parmi les quelles, la corrosion par piqûre. La croissance de cette dernière est toujours liée à la stabilisation d'un milieu localement acide, riche en chlorures d'aluminium.

III.2.3 Sensibilité des alliages d'aluminium à la Corrosion par piqûre :

Le potentiel de piqûre des alliages d'aluminium est, en règle générale, extrêmement bas. Il est rare de pouvoir empêcher toute apparition de piqûre sur un alliage d'aluminium.

En revanche, par le choix des éléments d'alliage, il est très souvent possible de maîtriser la croissance de ces piqûres suffisamment denses et homogènes, de manière à limiter à des valeurs acceptables les vitesses maximales de pénétration des piqûres.

Les critères de résistance à la corrosion par piqûre sont alors les caractéristiques de ces distributions de piqûres pour chaque alliage (densité, homogénéité, vitesse de pénétration moyenne et maximale).

Pour les alliages d'aluminium, l'intensité de la corrosion par piqûre décroît en général avec le temps. En immersion, par exemple, la vitesse de pénétration des piqûres suit une cinétique parabolique en $t^{1/3}$ (par exemple : les alliages de la série 5000 dans la mer).

En exposition atmosphérique, la corrosion par piqûre cesse même en pratique au bout de trois ans, après que la surface du métal ait acquis la patine grise typique des alliages d'aluminium [34].

Dans ces alliages, la corrosion par piqûre apparaît ainsi très souvent comme un phénomène temporaire et sans gravité. Néanmoins, certaines utilisations en immersion nécessitent parfois un contrôle absolu de la pénétration de la corrosion. Un tel contrôle peut être assuré grâce à l'utilisation de tôles plaquées.

De même, lorsque la préservation de l'état de surface initial devient un souci important (architecture, exposition atmosphérique), on peut avoir recours à un traitement de surface préalable d'anodisation.

III.3 Propriétés aux basses températures :

Du fait de leur structure cristalline cubique à faces centrées, l'aluminium et ses alliages ne présentent pas de phénomène de fragilisation aux températures ; comme cela peut être le cas avec les métaux cubiques centrés qui ont une température de transition, en-dessous de laquelle, ils perdent leur ténacité.

La résistance mécanique des alliages d'aluminium à l'état soudé ou non est plus élevée aux basses températures qu'à la température ambiante.

La différence, faible jusqu'à 80°C devient significative aux températures inférieures. À 196°C, les limites d'élasticité et les charges de la rupture de la plupart des alliages d'aluminium sont, en moyenne, supérieures respectivement de 20 et 30% à celles mesurées à la température ambiante; ces différences atteignent 35 et 50% à 253°C et sont généralement conservées [35].

III.4 Série 2000 (Al – Cu – Mg) :

Ces alliages font partie du groupe le plus varié des alliages d'aluminium, dérivant des observations faites par WILM [36] au début de ce siècle sur le durcissement par précipitation (durcissement structural). Ce système comporte au minimum trois différents types d'alliages selon les teneurs en éléments d'alliages.

Les alliages à haute résistance de la série 2000 (Al-Cu-Mg) possédant une microstructure assez complexe qu'il faut absolument connaître à fond si l'on veut être en

mesure de comprendre comment peut s'y propager des piqûres en corrosion . Avant d'aborder cette microstructure cependant, nous allons jeter un coup d'œil sur quelques propriétés de l'aluminium à l'état pur. Après tout, dans le 2017, on retrouve environ 95% de ce métal.

L'aluminium est un métal qui est surtout connu par sa bonne résistance à la corrosion et sa faible densité (trois fois que l'acier). Du point de vue économique, il est cependant assez faible (environ 40 Mpa de résistance à la traction) et plutôt ductile (50% à 70% d'allongement à la rupture).sa résistance à la rupture peut être grandement améliorée soit par l'écroutissage, soit par la présence d'éléments d'addition tel que le cuivre ou le zinc. Du côté corrosion, on remarque que l'aluminium devrait être un métal extrêmement réactif en se basant sur ses propriétés thermodynamiques.

Malgré tout, l'aluminium est très stable car un film très mince (de 5 à 10 nm dans l'air) d'oxyde se forme à la surface et le protège. Ce film est très adhérent et a des avantages de pouvoir se reformer très rapidement si jamais on l'endommage. POURBAIX [37] a déterminé pour des considérations thermodynamiques le domaine, à l'intérieur duquel, le film sera stable.

Les teneurs en cuivre des alliages de cette série sont comprises entre 2.6 et 6.3% et, quant ils en contiennent, leurs teneurs en magnésium varient de 0.5 et de 1.5 %. Le durcissement structural de ces alliages, qui est dû à la précipitation de formes transitoires des composés d'équilibre $CuAl_2$ et $MgAl_2$, leur confère d'excellentes propriétés mécaniques. L'addition de silicium et de manganèse, à des teneurs inférieures à 0.8% favorise la formation de composés quaternaires qui, par dispersion améliorent les propriétés de la matrice. Par contre, la présence de fer est souvent nuisible car, à cause de la formation du Cu_2FeAl_7 , le fer diminue la quantité du cuivre nécessaire au durcissement structural, cependant si, en plus du fer, on ajoute du Nickel, il y a formation des composés Al_9FeNi , qui confèrent à l'alliage une bonne tenue mécanique jusqu'à 230°C.

Signalons que les alliages de la série 2000 font preuve d'une résistance médiocre à la corrosion, à la trempé et vieilli, à cause de la présence de précipité cathodique par rapport à la matrice. Par ailleurs, ces alliages sont difficilement soudables, en effet, puisque les zones adjacentes aux cordons de soudure subissent un recuit lors du cycle thermique imposé par le soudage, leurs propriétés mécaniques sont considérablement affaiblies.

IV.1. TECHNIQUES ET CONDITIONS EXPERIMENTALES :

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'étude électrochimique de l'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium 2017 dans une solution HCl 1M, en employant les produits sulfonés synthétisés : TAG, TAK, TAS.

IV.1.1 Matériau étudié :

L'alliage d'aluminium (AU4G) utilisé dans notre travail, sous la désignation américaine (2017T4), appartient à la série 2000 (Al, 4%Cu, Mg) des alliages d'aluminium, c'est à dire que son principal élément d'addition est le cuivre, sa composition chimique est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Composition de l'alliage 2017

<i>Elément d'addition</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>
<i>Pourcentage %</i>	0.11	0.25	4.05	0.68	1.48	0.06	//	0.05	0.05

Avant chaque mesure les échantillons sont mécaniquement polis sous eau au papier abrasif (grade 280, 400, 600 et 1200), rincés à l'eau distillée , décapées dans la soude et séchés avec le papier filtre avant l'utilisation (figure VI.1)



Figure IV.1 : pièce d'aluminium 2017

IV.1.2 Solutions :

La solution acide est préparée à partir de la solution commerciale, acide chlorhydrique (37%) en utilisant de l'eau distillée. la gamme des concentrations utilisées pour les trois inhibiteurs est de 0,2 g/l, 0,4 g/l, 0,6 g/l, 0,8g/l, 1g/l et 2g/l. une solution de NaOH concentrée est préparée pour faire le décapage avant chaque utilisation.

IV.1.3 Etude gravimétrique :

Les mesures de pertes de masse sont une première approche de l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution électrolytique. Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et de ne pas nécessiter un appareillage important. Les dimensions des échantillons d'alliage d'aluminium sont 3cm× 2,5 cm× 0,1 cm. Ces échantillons sont immergés dans HCl 1M sans et avec addition de différentes concentrations de TAG, TAK, TAS. L'efficacité inhibitrice est déterminée après 2h d'immersion, à une température de 25°C à l'air atmosphérique. La valeur de l'efficacité inhibitrice donnée est la moyenne de trois essais effectués dans les mêmes conditions pour chaque concentration. Elle est donnée par la relation suivante

$$E_i(\%) = \frac{W - W_{\text{inb}}}{W} \times 100$$

Où W et W_{inb} présentent respectivement les valeurs des pertes de poids de l'aluminium après immersion en absence et en présence de l'inhibiteur.

Le schéma du montage utilisé est illustré sur la figure VI.2



Figure VI.2 : gravimétrie

IV.1.4 : La méthode électrochimique :

Pour la caractérisation du comportement électrochimique de l'aluminium vis-à-vis de la corrosion, dans le milieu considéré, nous avons opté pour l'emploi des méthodes électrochimiques, habituellement utilisés pour l'étude des inhibiteurs :

- Evaluation du potentiel de repos en fonction du temps (E_{corr})
- Courbes de polarisation (intensité- potentiel) et la détermination des droites de Tafel

Les mesures électrochimiques sont réalisées avec un potentiostat (galvanostat PGP 201) piloté par un logiciel d'analyse (Voltera 4) (figure VI.3).

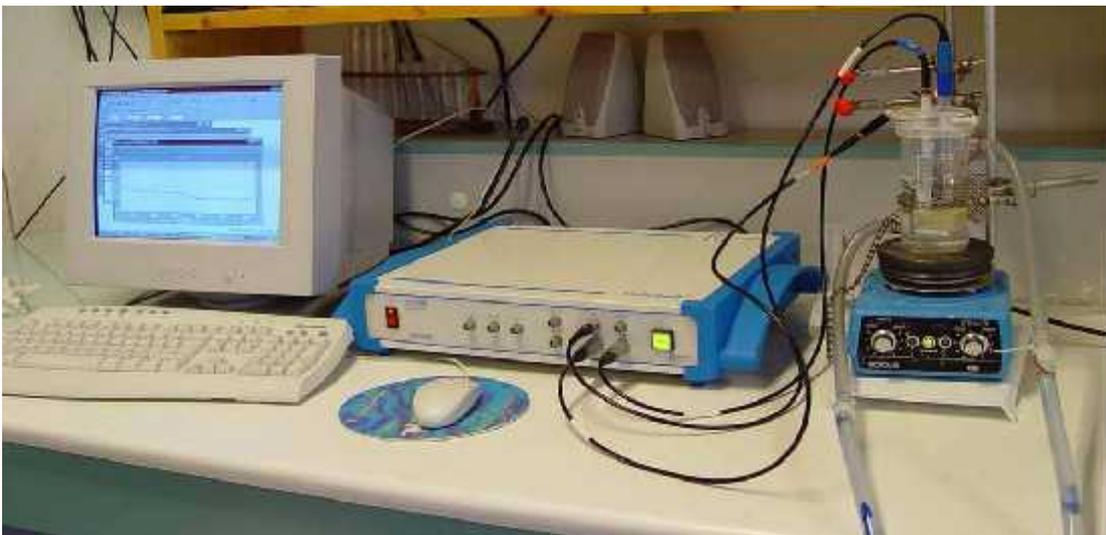


Figure VI.3 : Montage électrochimique

La cellule utilisée pour les essais électrochimiques est cylindrique, en verre et a une contenance de 100 ml. Elle est munie d'une double enveloppe permettant la régularisation de la température, par

l'intermédiaire d'un bain thermostaté. L'électrode de travail est un disque en aluminium 2017 de 1 cm² de section, enrobée dans une résine époxy, qui permet d'éviter toute infiltration d'électrolyte. La contre électrode est une grille en platine, placée vis-à-vis de l'électrode de travail. L'électrode de référence est une électrode au calomel saturée ECS (+0.24 V/ENH) (figure VI.4).

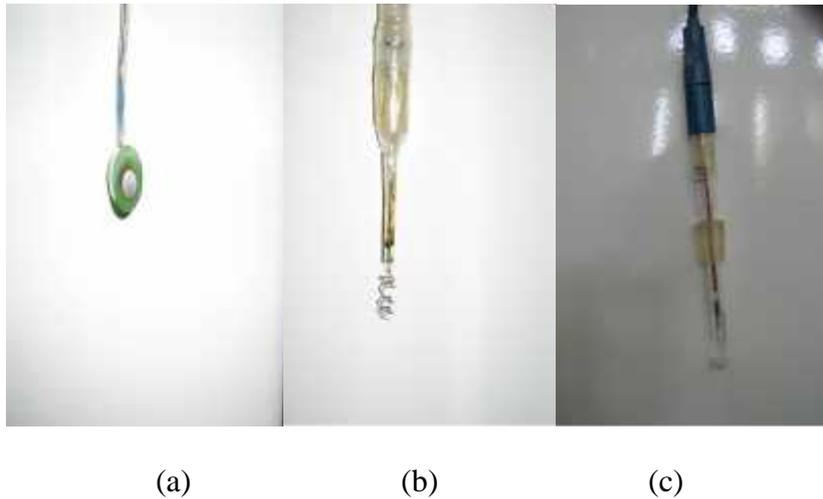


Figure VI.4 : (a) : électrode de travail (b) : électrode en platine (c) : électrode de référence

Le potentiel appliqué à l'échantillon varie de façon continue, avec une vitesse de balayage égale à 0,5 mV. sec de -200 mV jusqu'à 200 mV vs. E_{corr} . Le potentiel de l'électrode de travail (ET) atteint sa stabilité après une attente de 30 min les mesures peuvent alors être effectuées. Les valeurs de densité de courant de corrosion (I_{corr}), le potentiel de corrosion (E_{corr}) pour différentes concentrations en inhibiteurs sont déterminées, l'efficacité inhibitrice est définie comme suit :

$$E\% = \frac{I_{\text{corr}} - I_{\text{corr (inh)}}}{I_{\text{corr}}} \times 100$$

Où I_{corr} et $I_{\text{corr (inh)}}$ sont les valeurs de densité du courant de corrosion de l'aluminium déterminées par exploitation des droites cathodiques de Tafel, après immersion en milieu acide respectivement sans et avec addition de l'inhibiteur.

V. Résultats et discussion :

Ce travail a été consacré à l'étude de l'effet inhibiteur de tensioactifs synthétisés à partir de différentes coupes pétrolières algériennes : TAG, TAK et TAS en milieu HCl 1M.

V.1. Gravimétrie :

V.1.1. Effet de la concentration à 25°C :

L'étude de l'action inhibitrice des tensioactifs anioniques synthétisés sur la corrosion de l'alliage d'aluminium en milieu HCl 1M par gravimétrie est effectuée sur des échantillons de forme rectangulaire (3cm × 2,5cm × 0,1cm), immergés dans 100 cm³ d'une solution HCl 1M, en absence et en présence de l'inhibiteur pendant une durée de deux heures à 25°C.

L'efficacité inhibitrice (E%) est déterminée par l'expression suivante :

$$E(\%) = \frac{W - W_{inh}}{W} \times 100$$

W et W_{inh} représentent respectivement les valeurs de la vitesse de corrosion de l'alliage d'aluminium après immersion en absence et en présence de l'inhibiteur.

Les résultats de l'étude comparative portés dans le **tableau V.1** permettent de remarquer que l'addition de l'inhibiteur testé s'accompagne d'une diminution de la vitesse de corrosion jusqu'à une valeur maximale à la concentration de 2 g/l. On remarque également que le TAG donne la meilleure efficacité (97,55%).

Tableau V.1 : vitesses de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations de TAG, TAK et TAS pour la corrosion de l'alliage d'aluminium dans HCl 1N pendant 2 heures à 25°C.

	TAG		TAK		TAS	
	W (mg/cm ² .h)	E%	W (mg/cm ² .h)	E%	W (mg/cm ² .h)	E%
0	2,13		2,13		2,13	
0,2	0,42	80,39	0,66	68,86	1,11	48,01
0,4	0,18	91,36	0,40	81,20	0,70	67,29
0,6	0,14	93,30	0,20	90,48	0,57	73,22
0,8	0,11	94,83	0,20	90,43	0,41	80,72
1	0,06	97,17	0,17	92,07	0,34	83,98
2	0,05	97,55	0,07	96,93	0,16	92,49

Les courbes de l'évolution de la vitesse de corrosion W et l'efficacité inhibitrice E% de l'alliage d'aluminium en milieu HCl 1M, lors de l'ajout des inhibiteurs synthétisés à différentes concentrations sont représentés dans les figures V.1 et V.2

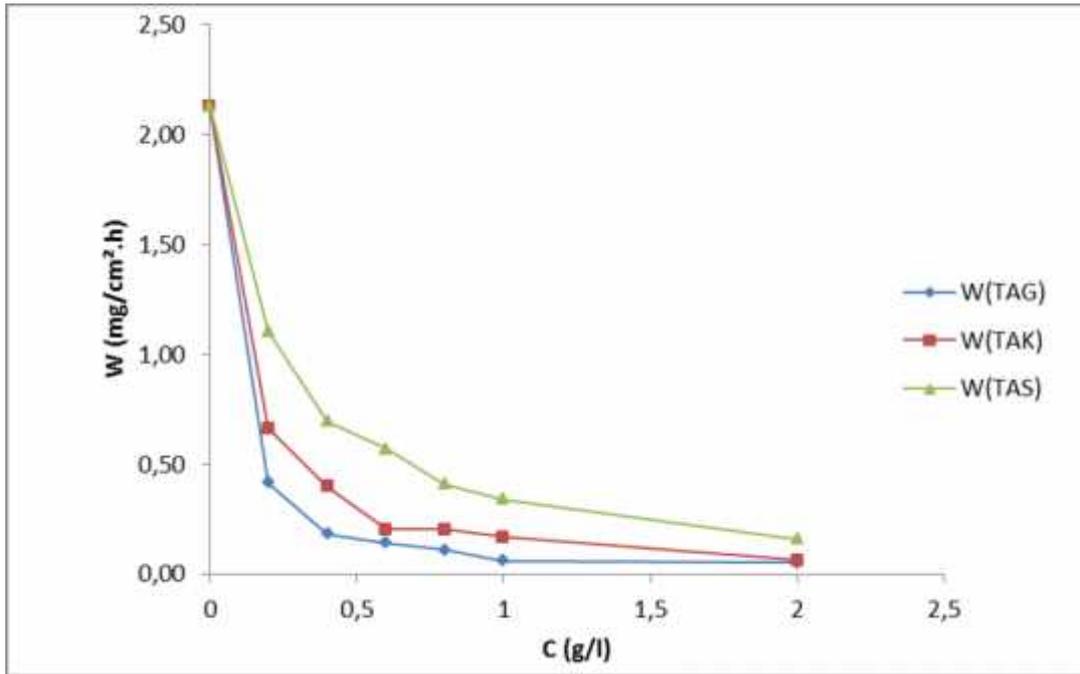


Figure V.1 : variation de la vitesse de la corrosion en fonction de la concentration en inhibiteur dans HCl 1M à 25°C

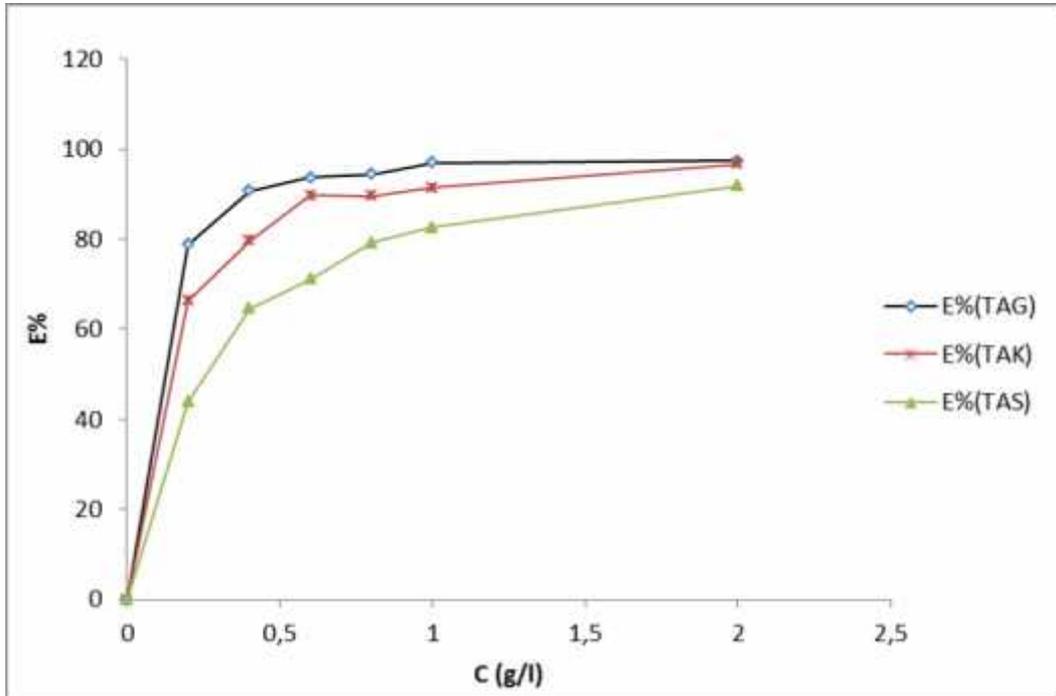


Figure V.2 variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration en inhibiteur dans HCl 1M à 25°C

L'examen de ces courbes nous permet de noter que la vitesse de la corrosion de l'aluminium en milieu HCl 1M diminue quand la concentration en inhibiteur augmente. Et par conséquent l'efficacité augmente et atteint une valeur maximale en présence de TAG .

V.1.2 :L'effet du temps d'immersion :

Compte tenu de l'importance du temps d'immersion, nous avons tracé les courbes de perte de masse en fonction du temps d'immersion (figureV.3). Le choix de la concentration 2g/l est justifié par le fait qu'à cette concentration, l'efficacité est maximale ; nous pouvons remarquer que la perte de masse (Pm) de l'alliage d'aluminium sans addition de l'inhibiteur augmente avec le temps d'immersion mais la perte de masse de l'aluminium avec l'addition de l'inhibiteur augmente avec une façon négligeable devant la première, ce qui explique que l'effet inhibiteur de nos tensioactifs diminuant la vitesse des réactions de dissolution.

Tableau V.2 : représente la variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion par unité de surface à 25°C

Temps (h)	Pm (HCl) mg/cm ²	Pm (TAK 2g/l) mg/cm ²
0,5	0,87	0,039
1	0,723	0,089
2	3,02	0,294
3	9,327	0,777
4	20,876	1,268

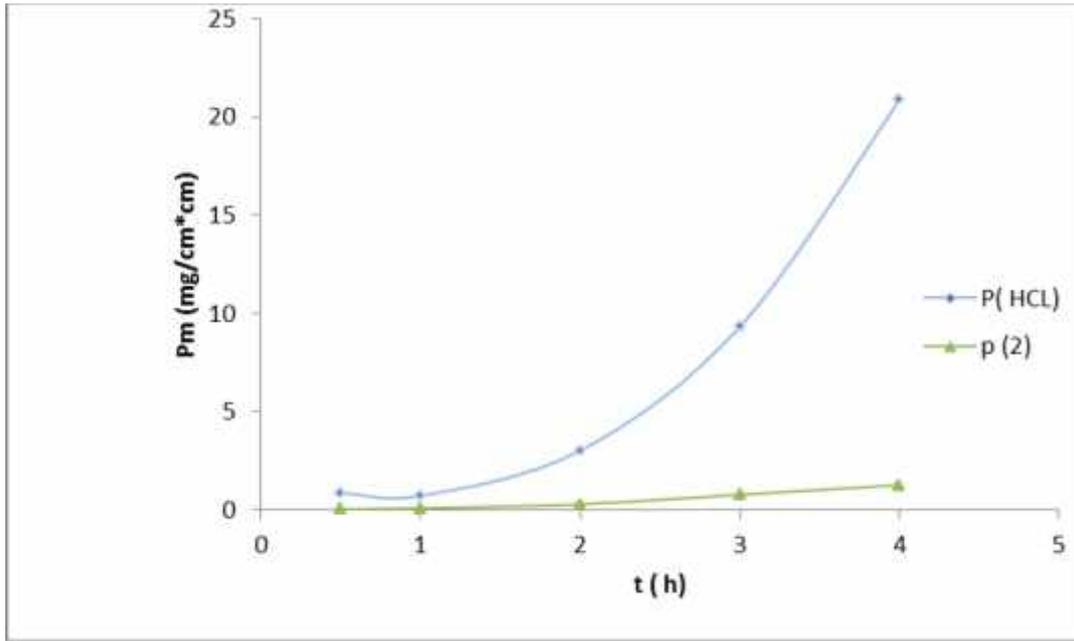


Figure V.3 : variation de perte de masse de TAK de 2 g/l en fonction du temps d'immersion à 25°C

V.1.3 : L'effet de la température :

La température est l'un des facteurs susceptibles de modifier le comportement d'un matériau dans un milieu corrosif. Elle peut modifier l'interaction métal-inhibiteur dans un milieu donné.

L'étude de l'action inhibitrice est étudiée sur l'alliage d'aluminium 2017 dans le milieu acide 1M à différentes températures (288-328K°) par la méthode gravimétrique.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau V.3 et les figures V.4, 5 (variation de W et E en fonction de T). Ces résultats montrent que la vitesse de corrosion augmente au fur et à mesure que la température augmente, en absence et en présence des inhibiteurs et aussi que le pouvoir protecteur des inhibiteurs testés diminue avec l'augmentation de la température.

Le tableau V.3 : Effet de la température sur la corrosion de l'alliage d'aluminium en milieu HCl 1M pour la concentration 2g/l en inhibiteur

T (K°)	HCl	TAG		TAK		TAS	
	W	W	E	W	E	W	E
288	0,61	0,01	98,65	0,02	97,26	0,05	92,48
298	2,13	0,03	98,41	0,08	96,46	0,18	91,63
308	16,27	0,56	96,53	0,99	93,90	2,29	85,92
318	35,45	3,76	89,38	5,12	85,57	25,85	27,06
328	50,68	19,38	61,77	31,40	38,05	38,00	25,02

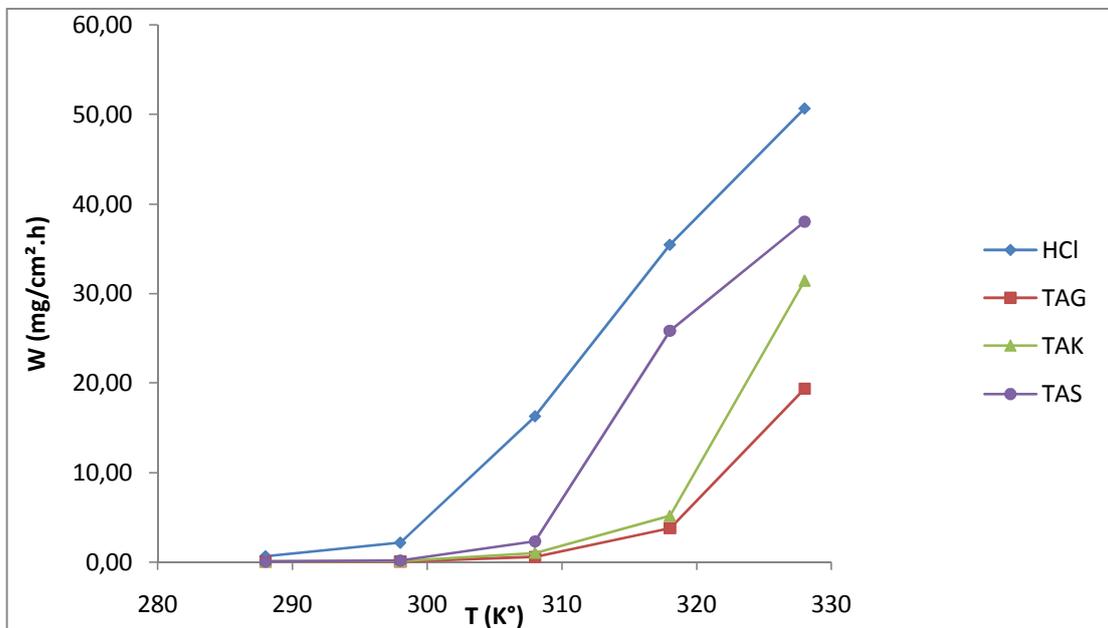


Figure V.4 : Effet de la température sur la vitesse de la corrosion

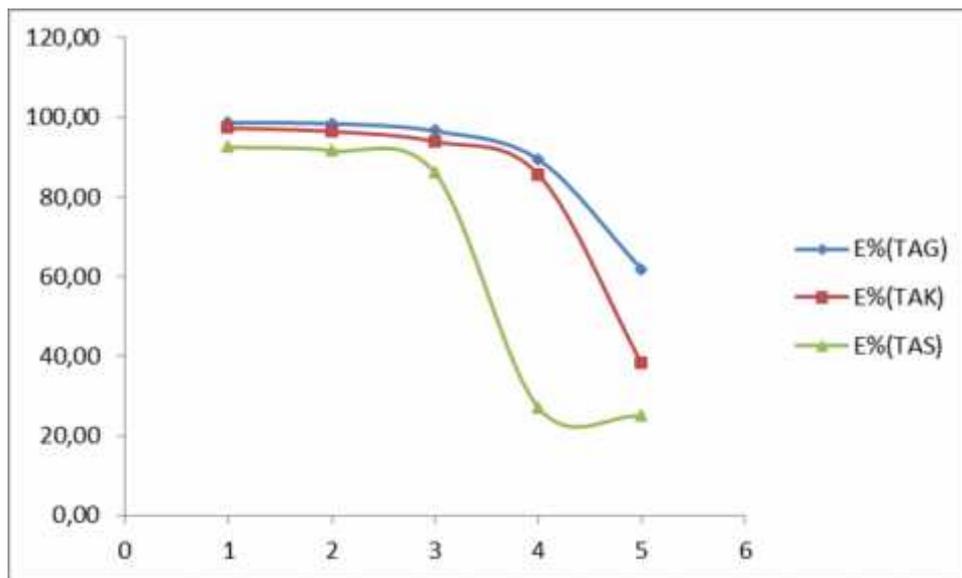


Figure V .5: variation d'E% en fonction de la température

V.2: La méthode électrochimique :

L'évaluation de l'efficacité inhibitrice, déterminée par perte de poids, ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Par contre, les mesures électrochimiques constituent une technique plus complète.

La FigureV.6 représente les courbes de polarisation cathodiques et anodiques de l'aluminium en milieu HCl 1M sans et avec addition de l'inhibiteurs a une concentration de 1g/l. Les paramètres électrochimiques tirés de ces courbes sont donnés dans le tableau (V.6).

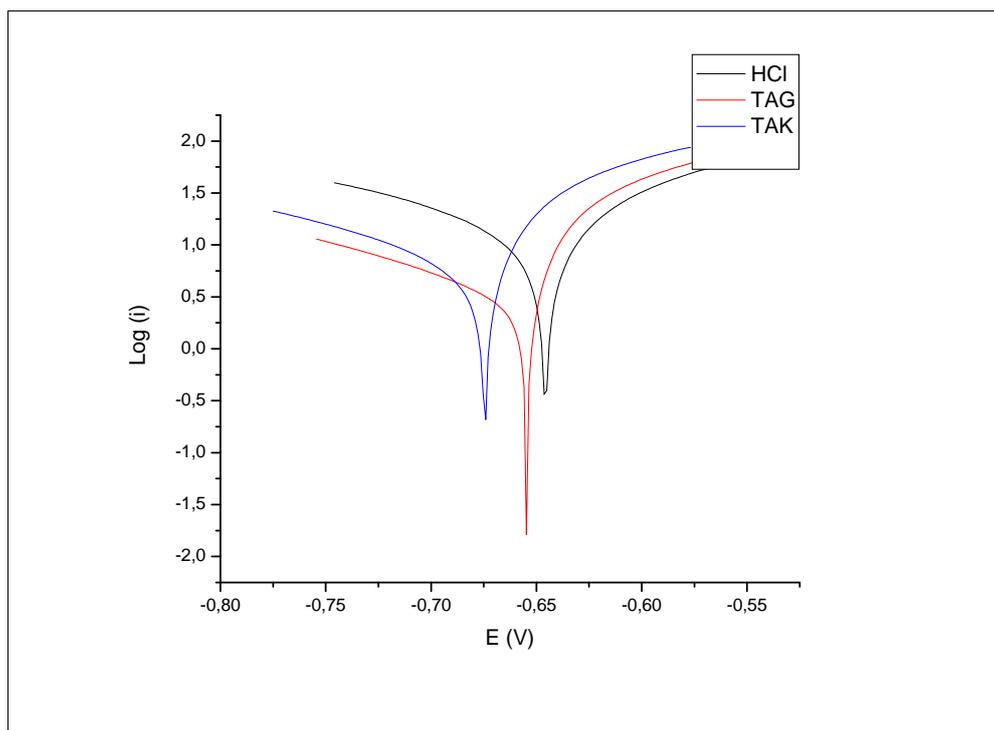


Figure V.6 : courbe de polarisation anodique et cathodique de l'alliage d'aluminium dans HCl 1M.

Tableau V.4 : représente les paramètres électrochimiques.

solution	E (i=0)	Rp (ohm×cm ²)	Icorr (mA/cm ²)	Ba(Mv)	Bc (Mv)	corrosion (mm/ans)	E%
HCl	-645,7	1,65	13,44	119,6	-211,1	157,2	
TAG (1g/l)	-655,4	4,32	3,123	323	-173,9	36,52	76,76
TAK (1g/l)	-674,6	2,61	6,0694	48,8	-181	70,98	54,84

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons remarquer que l'addition de TAG et TAK se traduit systématiquement par une diminution de densité courant de corrosion (Icorr) ce qui montre que nos inhibiteurs donnent une efficacité importante dans HCl 1M, cette efficacité a été déterminée en utilisant la formule :

$$E\% = \frac{I_{\text{corr}} - I_{\text{corr (inh)}}}{I_{\text{corr}}} \times 100$$

Ou I_{corr} et $I_{\text{corr (inh)}}$ sont les valeurs de densité du courant de corrosion de l'aluminium déterminées par exploitation des droites cathodiques de Tafel, après immersion en milieu acide respectivement sans et avec addition de l'inhibiteur.

L'efficacité inhibitrice déterminée, par les courbes de polarisation est plus faible que celle déterminée par perte de poids, cette différence est due simplement à la courte durée d'immersion dans le cas de la polarisation (30 min) ; en effet il y a formation d'un film protecteur plus important dans le cas de la gravimétrie dans le temps d'immersion et de 2h ce qui explique l'écart entre les valeurs obtenues.

V.3. Paramètres thermodynamiques :

L'étude de l'influence de la température sur le taux d'inhibition de la corrosion de l'alliage d'aluminium a été effectuée par gravimétrie. Cette étude permet la détermination des énergies d'activation E_a du processus de corrosion et par conséquent, nous renseigner sur le mécanisme d'inhibition.

L'effet de la température sur l'efficacité inhibitrice révèle différentes interprétations dans la littérature.

* Selon l'action de la température, Radovici [38] classe les inhibiteurs en trois groupes:

1- Inhibiteurs, dont le taux d'inhibition diminue avec l'augmentation de la température. La valeur de l'énergie d'activation E_a obtenue est plus grande que celle obtenue en absence de l'inhibiteur.

2- Inhibiteurs, dont l'efficacité ne change pas avec la variation de la température. La valeur d'activation E_a ne change pas en présence ou en absence de l'inhibiteur.

3-Inhibiteurs, dont l'efficacité inhibitrice augmente avec l'élévation de la température. La valeur d'activation E_a obtenue diminue par rapport à celle en absence de l'inhibition.

Le 1er groupe des inhibiteurs est souvent interprété par la formation d'un film adsorptif de caractère physique (électrostatique). Par contre dans le cas du 3ème groupe des inhibiteurs; l'adsorption chimique des molécules organiques à la surface de métal est la plus probable [39].

Le logarithme du taux de corrosion en fonction de la température absolue donne les lignes droites (figure V.7) en accord avec l'équation d'Arrhenius :

$$\ln w = A - E_a / RT$$

Où w est le taux de corrosion, A est le facteur constant de fréquence et E_a est l'énergie d'activation apparente. Où w est le taux de corrosion, A est le facteur constant de fréquence et E_a est l'énergie d'activation apparente.

Les valeurs des énergies d'activations E_a sont calculées et sont égales à 92,30 ; 159,02 ; 151,64 et 145,14 KJ. Mol^{-1} en absence et en présence d'inhibiteurs (TAG, TAK et TAS à 2 g/l respectivement).

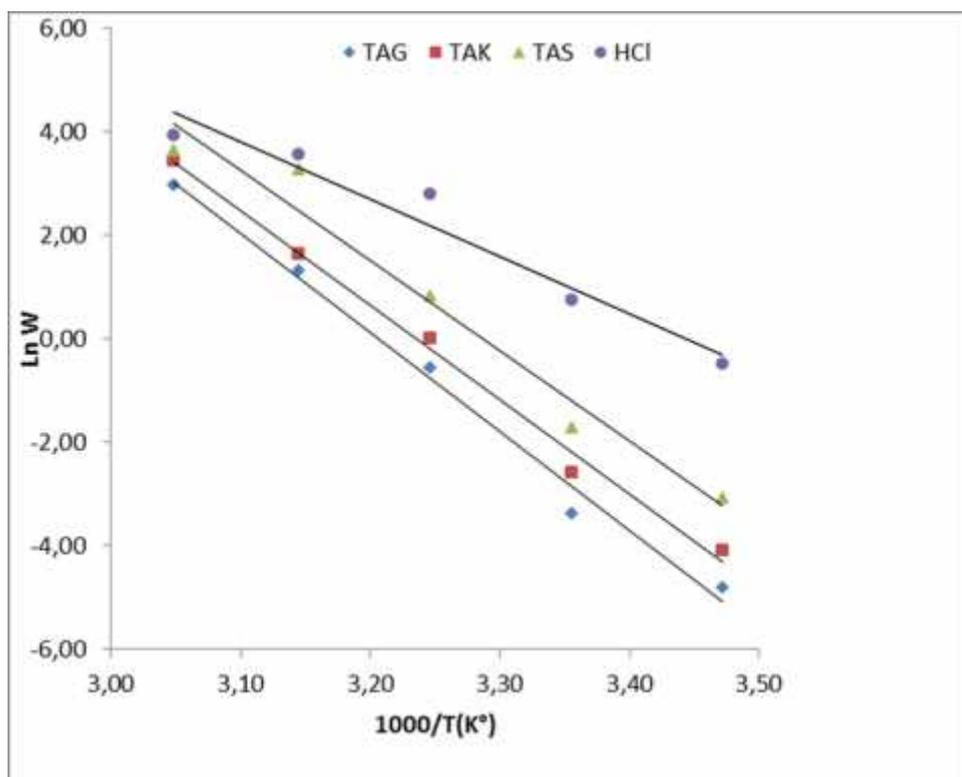


Figure V.7 : variation de logarithme de la vitesse en fonction de la Température.

L'augmentation des valeurs de E_a en présence des inhibiteurs due à une physisorption de ces inhibiteurs TAG, TAK et TAS sur la surface de l'alliage d'aluminium.

Une formule alternative de l'équation d'Arrhenius (4) permet de déterminer l'enthalpie et L'entropie d'activation selon l'équation suivante [40] :

$$W = \frac{RT}{N h} \exp\left(\frac{\Delta S^\circ}{R}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ}{RT}\right)$$

Où h est la constante de Plank, N est le nombre d'Avogadro, H° est l'enthalpie d'activation et S° est l'entropie d'activation. La variation de $\ln(W/T)$ en fonction de l'inverse de la température est une droite, avec une pente de $(-H^\circ/R)$ et une ordonnée à l'origine égale à $(\ln R/Nh + S^\circ/R)$ [41]. Nous pouvons donc calculer les valeurs de H° et S° . Les valeurs des enthalpies H° et des entropies S° sont données dans le tableau (V.5).

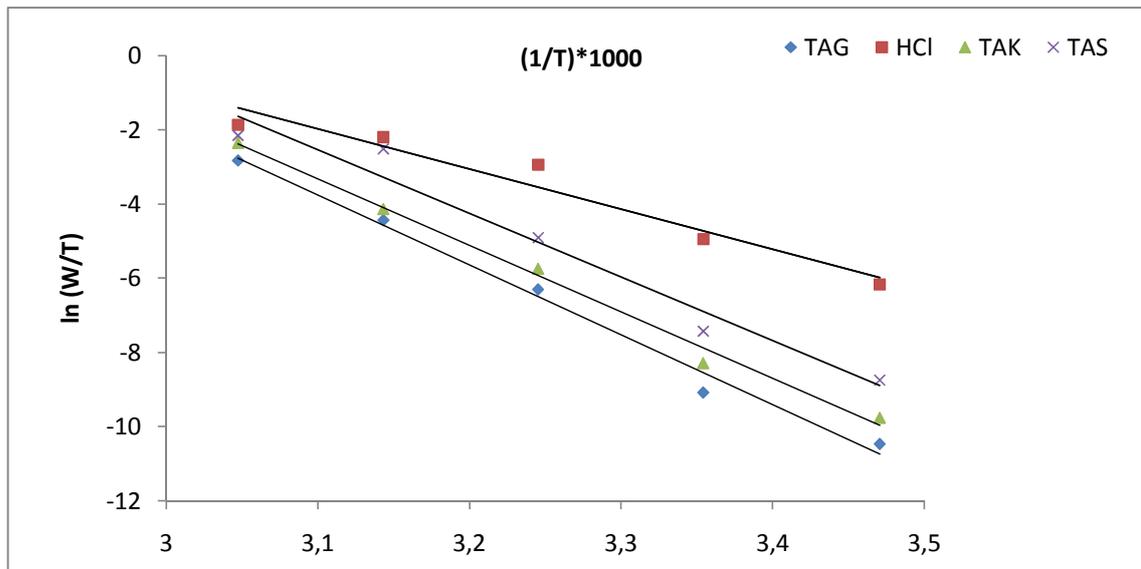


Figure V.8 : Variation de $\ln(W/T)$ en fonction de l'inverse de la température.

Tableau V.5. Enthalpie ΔH° et entropie ΔS° d'activation pour l'aluminium dans HCl 1 M en absence et en présence des inhibiteurs.

inhibiteurs	ΔH° (KJ / mol)	ΔS° (J / mol)
HCl	-89,7	64
TAG	-156,5	256
TAK	-149,1	237
TAS	-142,6	223

Les signes négatifs des enthalpies ΔH° reflètent la nature exothermique du processus de dissolution de l'aluminium. Les valeurs élevées et positives de l'entropie ΔS° impliquent qu'il y a augmentation du désordre lors de la transformation.

V.4. Isotherme d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont très importantes pour déterminer le mécanisme de la réaction électrochimique.

L'efficacité relative d'inhibition dépend :

- du taux de recouvrement de la surface métallique par les molécules d'inhibiteur ;
- de la fixation de la molécule d'inhibiteur sur le métal ;
- de la stabilité du complexe qui dépend de la planéité de la molécule.

Les valeurs de taux de recouvrement (θ) pour différentes concentrations des inhibiteurs obtenues à partir des mesures de perte de poids dans le domaine de température étudiée (15-55 °C), ont été utilisées pour déterminer l'isotherme correspondante au processus d'adsorption des inhibiteurs. Ainsi, différentes isothermes comprenant Langmuir, Temkin et Frankin ont été testées afin de trouver l'isotherme d'adsorption convenable.

On a testé les trois isothermes d'adsorption qu'on a expliquée dans la partie théorique, après calcul et dessin des graphes on a choisi l'isotherme de langumir puisque il s'satisfaisait les critères recherchés.

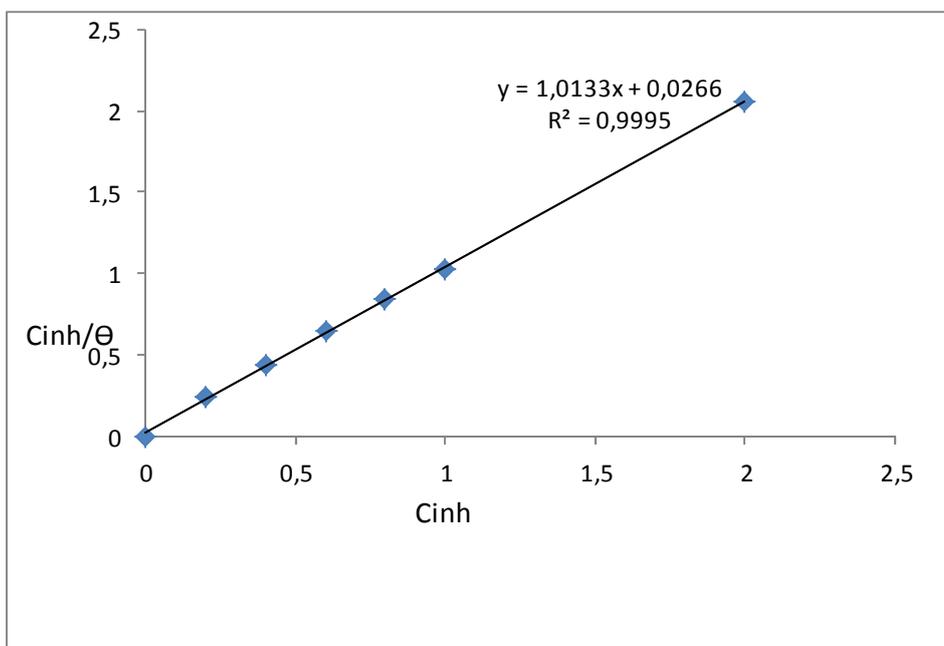


Figure V.9 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'alliage d'aluminium dans HCl 1M en présence de TAG à 25°C

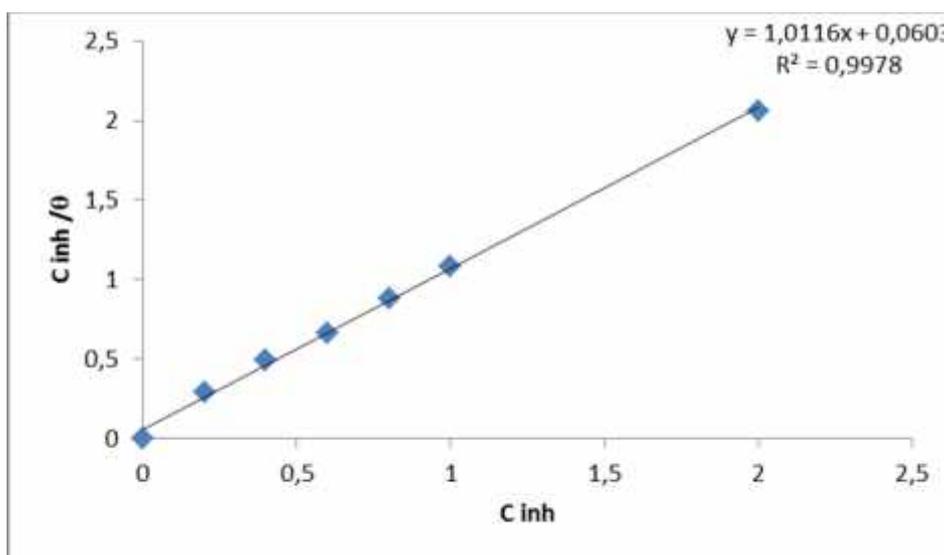


Figure V.10 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'alliage d'aluminium dans HCl 1M en présence de TAK à 25°C

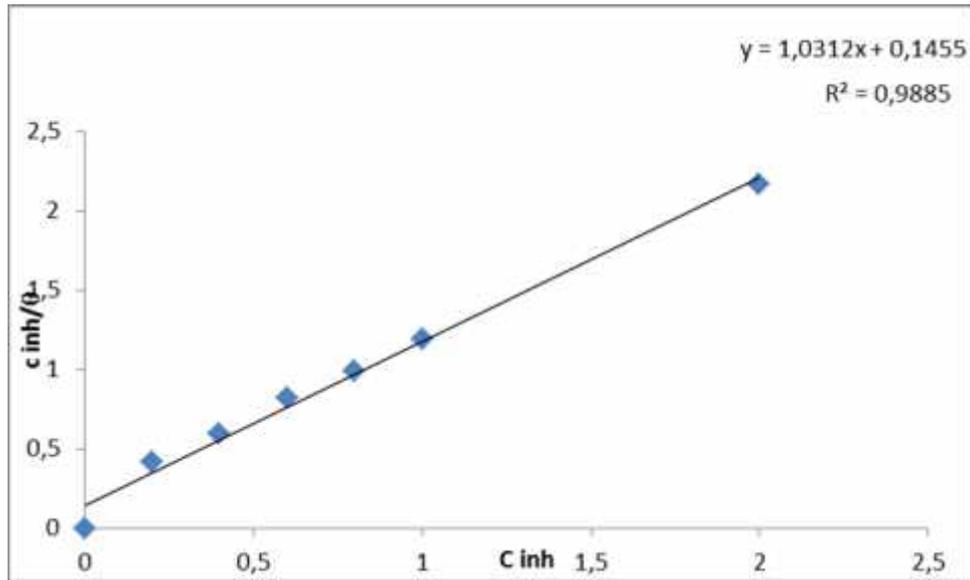


Figure V.11 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'alliage d'aluminium dans HCl 1M en présence de TAS à 25°C

La courbe $C_{inh} /$ en fonction de la concentration est linéaire pour les 3 inhibiteurs (figure V.9, 10 et 11), cela montre que l'adsorption de ces substances organiques sur la surface de l'alliage d'aluminium en milieu chlorhydrique obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

Chapitre

1

*Etude bibliographique sur le
phénomène de la corrosion*



Chapitre

2

Méthode de protection et techniques
d'évaluation

Chapitre

3

Aluminium et ses alliages

Chapitre

4

Techniques et Conditions

Expérimentales



Chapitre

5

Résultats et discussions

Introduction générale

Conclusion générale



CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'efficacité inhibitrice de tensioactifs anioniques synthétisés à partir de coupe pétrolières algériennes (TAG, TAK et TAS) sur la tenue à la corrosion de l'alliage d'aluminium en milieu acide par des méthodes gravimétriques et électrochimiques.

À la lumière des résultats obtenus, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les produits synthétisés : TAG, TAK et TAS, possèdent un pouvoir inhibiteur intéressant contre la corrosion de l'alliage d'aluminium en milieu HCl 1M à 25°C, ils atteignent les valeurs de l'ordre : 97,5 ; 96,9 ; 92,4% respectivement.
- L'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration en inhibiteur.
- L'efficacité inhibitrice diminue avec l'augmentation de la température.
- L'adsorption de ces inhibiteurs sur la surface de l'alliage d'aluminium en milieu acide suit l'isotherme de Langmuir.
- L'augmentation des valeurs des énergies d'activation en présence des inhibiteurs, permettent de conclure que nos inhibiteurs s'adsorbent physiquement sur la surface de l'alliage d'aluminium.
- Les données thermodynamiques du processus d'adsorption (les valeurs négatives de l'enthalpie H et l'augmentation de l'entropie S) montrent la physisorption des inhibiteurs sur la surface de l'aluminium.

Perspectives

- Faire une étude approfondie de l'inhibition de ces produits synthétisés contre la corrosion de l'alliage d'aluminium (effet de la concentration en inhibiteur, effet de la température, effet du temps d'immersion) en utilisant la polarisation potentiostatique et impédance électrochimique,

Dédicaces

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidée sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspirée les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Je dédie les fruits de ce modeste travail qui n'est qu'un geste de gratitude envers ceux que j'aime, à :

- ♥ Ma très chère maman qui a été toujours à mes côtés.
- ♥ Mon papa chéri pour ses énormes sacrifices.
- ♥ Mes chères petites sœurs : **Lylia, Fatima, Malia et Chiraz**
- ♥ Mon cher petit frère : **Yasser**
- ♥ Ma chère tante
- ♥ Mes enseignants qui ont été d'un grand apport durant mon cursus universitaire
- ♥ Mes chères amies.

Et en fin pour être sûre de n'oublier personne que tous ceux, qui ont contribué, par leur conseils leurs encouragements leur aide ou leur amitié, à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Amel  

Introduction générale

La corrosion cause un grand préjudice à l'économie mondiale. Les phénomènes de détérioration des matériaux, aux installations métalliques sous l'effet de la corrosion concernent toutes les branches de l'industrie : de l'industrie lourde (travaux publics, constructions navale et ferroviaire) à l'industrie de pointe (électronique, informatique ...). Sur le plan industriel, la protection contre la corrosion présente une partie importante des mesures de prévention contre les dommages ; elle vise à allonger la durée d'utilisation d'un produit, à réduire les travaux de rénovation et la consommation d'énergie, à éviter les interruptions de travail et les pertes de production.

Il est connu que l'aluminium comme la plupart des matériaux, est susceptible d'être détruit par la corrosion, c'est-à-dire par réaction avec le milieu environnement. C'est pourquoi les scientifiques se sont depuis longtemps intéressés à l'étude de la corrosion de ces matériaux dans différents milieux réactionnels.

En particulier, le milieu acide a fait l'objet d'un grand nombre d'études, il est largement utilisé dans l'industrie, les principaux domaines d'application étant le décapage ou le nettoyage à l'acide, les procédés de synthèse industrielle, l'élimination de dépôts localisés (tartre non uniformément reparti, rouille, dépôts bactériens, etc.....).

En matière de protection, les inhibiteurs constituent un moyen original pour lutter contre la corrosion. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité, au milieu agressif et pouvant réduire la vitesse de la corrosion du métal exposé. Les nouvelles directives concernant les rejets industriels étant de plus en plus sévères en terme d'écologie, la mise au point d'inhibiteurs de corrosion éco-compatibles et biodégradables devient, de nos jours, un enjeu important. C'est en particulier pour cette raison, mais également pour leurs propriétés inhibitrices remarquables, que l'utilisation d'inhibiteurs organiques a été largement plébiscitée au cours de cette dernière décennie.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à tester l'effet inhibiteur de produits organiques (tensioactifs anioniques sulfonés synthétisés à partir de coupes pétrolières algériennes) contre la corrosion de l'aluminium dans un milieu acide HCl 1M.

Le travail présenté dans ce mémoire comporte cinq chapitres. Le premier chapitre donne un aperçu sur le phénomène de la corrosion, les différents types et formes. Le deuxième chapitre

présente des exposés sur les processus de la protection contre la corrosion. Dans le troisième chapitre, nous nous sommes intéressés aux alliages d'aluminium, leurs propriétés physicochimiques et leurs applications industrielles. La partie expérimentale (la préparation des pièces, gravimétrie, méthode électrochimique) est décrite dans le quatrième chapitre. Dans le cinquième chapitre on présente les résultats expérimentaux et leur interprétation.

Enfin, à la lumière des résultats obtenus, une conclusion générale est donnée.

Liste des figures

Figure I.1 : Corrosion uniforme.....	4
Figure I.2 : corrosion galvanique.....	4
Figure I.3 : Corrosion caverneuse.....	5
Figure I.4 : Corrosion par pique.....	5
Figure I.5 : Corrosion intergranulaire.....	5
Figure I.6 : Corrosion sélective.....	6
Figure I.7 : Corrosion avec frottement.....	6
Figure I.8 : Corrosion sous contrainte mécanique.....	7
Figure I.9 : Corrosion fatigue.....	7
Figure I.10 : Corrosion fissurante.....	7
Figure I.11 : Corrosion filiforme.....	8
Figure I.12 : réaction électrochimique à l'interface métal/solution.....	9
Figure I.13 : diagramme potentiel-PH de l'aluminium.....	11
Figure II.1 : schéma représentant le classement des inhibiteurs de corrosion.....	16
Figure II.2 : représentation d'une molécule de tensioactif.....	21
Figure II.3 : détermination des paramètres électrochimique à partir des droites de Tafel.....	26
Figure II.4 : courbe $I = f(E)$ caractéristique d'une cinétique de diffusion pure....	26
Figure II.5 : courbe $I = f(E)$ caractéristique d'une cinétique mixte.....	27
Figure IV.1 : pièce d'aluminium 2017	32
Figure VI.2 : gravimétrie.....	34
Figure VI.3 : Montage électrochimique.....	34
Figure VI.4 : électrodes utilisées.....	35
Figure V.1 : variation de la vitesse de la corrosion en fonction de la concentration en inhibiteur dans HCl 1M à 25°C.....	38
Figure V.2 variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration en inhibiteur dans HCl 1M à 25°C	38

Figure V.3 : variation de perte de masse de TAK de 1g/l en fonction du temps d'immersion à 25°C.....	40
Figure V.4 : Effet de la température sur la vitesse de la corrosion.....	41
Figure V.5 : variation d'E% en fonction de la température.....	42
Figure V.6 : courbe de polarisation anodique et cathodique de l'aluminium dans HCl 1M.....	43
Figure V.7 : variation de logarithme de la vitesse en fonction de la Température.	45
Figure V.8 : Variation de Ln (W/T) en fonction de l'inverse de la température.....	46
Figure V.9 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'aluminium dans HCl 1M en présence de TAG à 25°C.....	48
Figure V.10 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'aluminium dans HCl 1M en présence de TAK à 25°C.....	48
Figure V.11 : Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'aluminium dans HCl 1M en présence de TAS à 25°C.....	49

Liste des symboles et abréviations

H° : l'enthalpie d'activation

S° : l'entropie d'activation

θ : le taux de recouvrement

ba : pente anodique

bc : pente cathodique

C_{inh} : la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte

E_a : énergie d'activation du processus de dissolution du métal en ($J \cdot mol^{-1}$)

E_{corr} : potentiel de corrosion

$E\%$: efficacité de l'inhibiteur en pourcentage

h : constante de plank

I_c : courant capacitif

I_{cor} : courant de corrosion

K : la constante d'équilibre de processus d'adsorption

N : le nombre d'Avogadro

R : la constante des gaz parfait

R_e : résistance ohmique

R_p : résistance de polarisation

t : temps (seconde)

T : température absolue (K°)

TAG : tensioactif à base de gas-oil

TAK : tensioactif à base de kérosène

TAS : tensioactif à base de solvant lourd

V_{cor} : vitesse de corrosion

W : la vitesse de corrosion a blanc

W_{inh} : la vitesse de corrosion par inhibiteur

Liste des tableaux

Tableau I.1 : facteurs de la corrosion.....	13
Tableau IV.1 : composition d'alliage 2017.....	32
Tableau V.1 : Vitesse de corrosion et efficacités inhibitrices pour différentes concentrations de TAG, TAK et TAS pour la corrosion d'aluminium dans HCl 1N pendant 2 heures à 25°C.....	37
Tableau V.2 : représente la variation de la perte de masse en fonction de temps d'immersion par unité de surface à 25°C.....	39
Tableau V.3 : Effet de la température sur la corrosion de l'aluminium en milieu HCl 1M pour la concentration 2g/l en inhibiteur.....	41
Tableau V.4 : représente les paramètres électrochimiques.....	43
Tableau V.5 . Enthalpie H° et entropie S° d'activation pour l'aluminium dans HCl 1 M en absence et en présence des inhibiteurs.....	47

Bibliographie

- [1] R.M. Latanision, *Mater. Perform.*, 26, 9(1987).
- [2] J.L.Crolet, *Interfaces et Surfaces en Métallurgie*, Trans. Tech. Publications ; Suisse, (1975).
- [3] J.L.Crolet, *Revue de l'institut Français du pétrole*, 34 (1979) 929.
- [4] M.Pourbaix ; *Atlas d'équilibre électrochimique* ; Edition Masson (1967).
- [5] R.Agrawal, T.K.G.Namboodhiri, *J. Appl. Electrochem*, 22 (1972) 383
- [6] Deter ladolt, *corrosion et chimie de surfaces des metaux trait des materiaux*, France, (1997)
- [7] J.Bernard. *L'oxydation des métaux-tomes 1.Guathier – Villars*. (2001) 76
- [8] Gérard Béranger hanri mazille, « corrosion et anti-corrosion », *mécanique et ingénieure des matériaux*, France ,(2002)
- [9] F.Dabosi, G.Beranger, B. Baroux , *Corrosion Localisée*, Banyuls (Ed.de physique) (1992)
- [10] J.G.N. Thomas, *Proceeding 5th European Symposium on corrosion Inhibitors*, Ann. Univ . Ferrara.Italy, (1980) 453.
- [11] L.I.Antropov, *First International Congress on Metallic Corrosion*, Betterworths London, (1962) 147
- [12] B.Sathianandhan, K. Ralahrishnan, N.Subramyan, *Br. Corros.J.* 5(1970) 270
- [13] F.Zucchu, G.Trabanelli, G.Brunoro. *Corros. Sci.* 33(1992) 1135
- [14] J.Uhrea, K.Aramaku. *J. Electrochem .Soc.* 138(1991) 3245
- [15] J.O'M.Bockris, B. Yang, *J. Electrochem. Soc.* 138 (1991) 2237
- [16] G.Banerjee, S.N.Malhotra, *Corrosion*, 48(1992) 10
- [17] G.Schmitt, *Br. Corros.J.* 19, (1994) 165.
- [18] G.Lwis. *Corros. Sci.*, 22(1982) 579
- [19] S.Rengamani, T. Vasudevan et S.Venkatakrishna Iyer, *Ind.J.Technol* 31(1993) 519
- [20] A.B.Tadros, B.A.Abenaby, *J Electroanal.Chem*, 246(1988) 433.
- [21] N.Elkader, K. Nobe, *Corrosion*, 32 (1976) 128
- [22] B.Mernari, H. Elattari, M. Traisnel, F. Bentisse, M. Lagrenee, *Corros.Sci*, 40, (1998) 391
- [23] F.Bentiss; M. Largenee, M. Traisnel; J.C. Hornez, *Corros. Sci*; 41(1999) 789
- [24] G. Xue, J. Ding, *Appl. Surf. Sci*; 40(1990) 327
- [25] D. Chadwick, T. Hashemi, *Corros. Sci*; 20(1978) 88
- [26] C. Tornkvist, D. Thiery, J. Bergam, B. Liedberg, C. Leygraf, *J. Electrochem. Soc*; 136(1989) 58
- [27] H. Hamitouch « etude de l'efficacité inhibitrice de quelque tensioactifs, synthétisés à partir de coupe pétrolières algériennes, dans la lutte contre la corrosion interne des pipelines », mémoire de

magistère, USDB (2005)

[28] Salager, J .L., « Surfactifs types et usages », laboratoire de formulation, interface Rhéologie et procédés, universidad de los andeses facultad de ingenieria. Cahier FIRP N° F300-A Module d'enseignement en phénomènes interfaciaux en francais Escus de Ingéniera Quimeca Mérida-Vénézuéla) version 2, (Aout 2002), 2P

[29] S. BANI « synthèse d'émulsifiants à partir de coupes pétrolières et de pétrole brut algérien, Application à la récupération assistée du pétrol », Mémoire de magistere. USDB,(2004)

[30] Oldenhove de Guertechin, L., « Surfactants Classification »,In : Handbook of detergents, G. Broze, Ed. Marcel Dekker Inc., New York, NY (1999), 7-46

[31] J.M. DORLOT, J.P. BAILON et J. MASSONAVE

« des matériaux » . édditions de l'école polytechnique de Montréal P-326-330, 1986 .

[32] I.L. AKHTINE « Métallographie et TT des metaux » , 1977 .

[33] Henri-Paul Lieurade Alliage d'aluminium et corrosion par pique » Technique d'ingénieur,M153

[34] Roger DEVELY L'école nationale supérieur d'électrochimie et d'électrométallurgie de Grenoble. Technique d'ingénieur, COR325.

[35] N. CHERIET «Etude de comportement en corrosion de l'alliage aéronautique Al-Cu-Mg (2024T3) » .Thèse de Magistère, ENP EL-HARACH , 1991 .

[36] M. POURBAIX WERKST et U. KORR n°20,P773. 1969 .

[37] S Kertit, B Hammouti, M Melhaoui, Brevet Marocain 23910 (1995).

[38] O. Radovici, proceedings of the 2nd European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ferrara, (1965) 178.

[39] T. Szauer et A.Brannndt, Electrochem. Acta, 26 (1981)1209.

[40] J.O'M. Bochriss, A.K.N. Reddy, Modern Electrochemistry, Vol. 2, Plenum Press, New York, p. 1267 (1977).

[41] F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenee, Corros. Sci., 47, 2915 (2005).

Remerciements

Avant tout, nous remercions le BON DIEU le tout puissant qui nous a donné le courage pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Ce travail a été effectué au laboratoire d'électrochimie, au département de Chimie industrielle, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Saad Dahlab de Blida, sous la direction de Mme R. MEHDAOUI, Chargée de cours à L'USDB. Je la remercie pour son suivi quotidien qui m'a permis de mener à bien ce travail. Dès le début, elle a fait preuve d'une grande confiance en moi et n'a jamais cessé de le manifester. C'est pourquoi je me suis toujours fait un devoir de lui rendre cette confiance.

Je suis très honorée que M^r A. KHELIFA, professeur l'USDB a accepté la présidence du jury de thèse.

Mes remerciements vont également à Madame N. ALLEL et Madame H. HAMITOCHE pour avoir accepté de faire partie de ce jury.

Mon gratitude et mes sincères remerciements sont adressés aux membres du Laboratoire de l'électrochimie, pour leur soutien durant notre stage.

Et enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	3
Chapitre I : Corrosion	
I.1.Introduction.....	3
I .2.Types de corrosion.....	3
I.3. Formes de corrosion.....	4
I.3.1. Corrosion uniforme.....	4
I.3.2. Corrosion galvanique.....	4
I.3.3. Corrosion caverneuse.....	4
I.3.4. Corrosion par pique.....	5
I.3.5. Corrosion inter granulaire.....	5
I.3.6. Corrosion sélective.....	6
I.3.7. Corrosion érosion.....	6
I.3.8. Corrosion avec frottement.....	6
I.3.9. Corrosion sous contrainte mécanique.....	6
I.3.10. Corrosion fatigue.....	7
I.3.11. Corrosion fissurante.....	7
I.3.12. Corrosion filiforme.....	8
I.4. Aspects électrochimiques de la corrosion.....	8
I.4.1. Nature électrochimique de la corrosion.....	8
I.4.2. Réaction électrochimiques de la corrosion.....	9
I.5.facteurs influençant sur de la corrosion.....	9
I.5.1. Influence de la concentration du réactif.....	10
I.5.2. Influence du PH ; diagramme de pourbaix.....	10
I.5.3. Influence de la température.....	11
I.5.4. Influence de l'état de surface.....	11
I.5.5. Influence de la teneur en oxygène dissous.....	12
I.5.6. Influence de la nature du matériau métallique et sa composition.....	12

Chapitre II : méthode de protection et techniques d'évaluations

II.1.Introduction	14
II.2. La protection cathodique.....	14
II.3. La protection anodique.....	14
II.4. Application des revêtements.....	14
II.5.Les inhibiteurs de la corrosion.....	14
II.5.1. Propriété essentiel d'un inhibiteur de corrosion.....	15
II.5.2. Les classes d'inhibiteurs.....	15
II.5.2.a. Par réaction partielle.....	16
II.5.2.b. Par domaine d'application.....	17
II.5.2.c. Par mécanisme réactionnel.....	17
II.5.2.d. Par formulation des produits.....	17
II.6. Mode d'activation des inhibiteurs.....	18
II.6.1. Types d'adsorption.....	18
II.6.1.1. La physisorption.....	19
II.6.1.2. La chimisorption.....	19
II.6.2. Structure moléculaire des inhibiteurs.....	19
II.6.3.Influence de la densité électronique.....	20
II.6.4. Isotherme d'adsorption.....	20
II.6.4.1. Isotherme de Langumir.....	20
II.6.4.2. Isotherme de Temkin.....	21
II.6.4.3. Isotherme de Frunkin.....	21
II.7. Les inhibiteurs sous forme de tensioactifs.....	22
II.7.2. Les différentes classes des tensioactifs.....	22
II.8. Les techniques d'évaluation de la corrosion.....	22
II.8.1. La gravimétrie.....	23
II.8.2. Techniques électrochimiques.....	23
II.8.2.1. Evaluation du potentiel en fonction de temps.....	23
II.8.2.2. Courbes de polarisation.....	24
II.8.2.3. Cinétique d'activation pure.....	25
II.8.2.4. Cinétique de diffusion pure.....	26
II.8.2.5. Cinétique mixte.....	27

Chapitre III : Aluminium et ses alliages	
III.1. Généralités sur l'aluminium.....	28
III.2. Alliage d'aluminium.....	28
III.2.1. Présentation.....	28
III.2.2. Appréciation des milieux corrosifs.....	29
III.2.3. Sensibilité des alliages d'aluminium à la corrosion par pique.....	29
III.3. Propriétés aux basses températures.....	30
III.4. Série 2000.....	30
Chapitre IV : Techniques et conditions expérimentales	
IV.1. Techniques et conditions expérimentales.....	32
IV.1.2. Matériau étudié.....	32
IV.1.2. Solutions.....	33
IV.1.3. Etude gravimétrique.....	33
IV.1.4. La méthode électrochimique.....	34
Chapitre V : Résultats et discussions	
V.1. gravimétrie.....	36
V.1.1. Effet de la concentration.....	36
V.1.2. Effet du temps d'immersion.....	39
V.1.3. Effet de la température.....	40
V.2. La méthode électrochimique.....	42
V.3. Paramètres thermodynamiques.....	44
V.4. Isotherme d'adsorption.....	47
Conclusion générale	49

