



## Effet de concentration de tungstène lors de revêtement de l'alliage Ni-W

**Boutheina Zerouni<sup>1,2</sup>, Imene Laabidi<sup>2</sup>, Soundes Belalmi<sup>2</sup>, Yazid Messaoudi<sup>1</sup>, Mohamed Redha Khelladi<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de chimie ingénierie moléculaire et nanostructure (LCIMN), Université Ferhat Abbas Sétif-1, 19000, Algérie.

<sup>2</sup>Département Sciences de la Matière, Faculté Sciences et de la Technologie, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj 34000, Algérie.

\* Corresponding author: Tel./Fax: +213-0794 62 6143; E-mail address: [mohamedridha.khelladi@univ-bba.dz](mailto:mohamedridha.khelladi@univ-bba.dz)

---

### Article history

Received November 13, 2024

Accepted for publication December 8, 2024

### Abstract

Dans cette recherche, nous avons étudié l'effet du comportement de revêtement d'alliage nickel-tungstène sur un substrat de cuivre dans un électrolyte de NaCl à 3.5%. Les expériences se sont concentrées sur l'effet de la concentration en W sur les performances de processus de corrosion des dépôts d'alliage Ni-W/Cu. Le comportement à la corrosion des revêtements a été étudié par un test de polarisation potentiodynamique et l'impédance électrochimique. Des données expérimentales telles que la densité de courant de corrosion et la résistance de polarisation ont indiqué que les conditions de fonctionnement utilisées pendant l'élaboration avaient des effets significatifs sur les paramètres de corrosion du revêtement d'alliage Ni-W. Les résultats ont montré que la résistance à la corrosion la plus élevée a été obtenue pour le revêtement avec 5.22 % en poids de tungstène qui a été préparé à une densité de courant de -150 mA/cm<sup>2</sup>. Des techniques de microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectrométrie de la fluorescence X (XRF) ont été utilisées pour caractériser la morphologie et l'analyse élémentaire des couches l'alliage Ni-W. Les résultats ont montré une morphologie granulaire avec une faible teneur en W dans l'alliage obtenu.

---

**Keywords:** Alliage Ni-W, corrosion, électrodéposition, MEB, XRF.

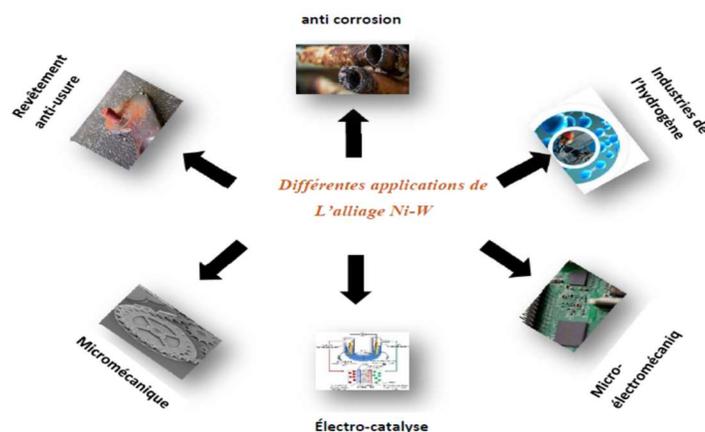
---

## 1. Introduction

Les nanosciences et les nanotechnologies sont deux des développements les plus prometteurs des sciences des matériaux. Les nanotechnologies représentent actuellement un domaine scientifique et technologique florissant. Au cours des dernières décennies, il y a un intérêt croissant et un développement rapide de nouveaux matériaux pour diverses applications industrielles et technologiques. Les nanostructures des matériaux modernes ont été appliquées avec succès, en raison de leurs propriétés électrique, optique, chimique, et mécanique [1]. Sous forme de revêtement et dans un large domaine tel que le secteur médical [2], catalyse [3], l'industrie électronique et optoélectronique [4], conversion de l'énergie [5] et la mécanique [1]. Leur large utilisation est liée à leurs propriétés élevées, par rapport aux matériaux microcristallins conventionnels [6].

Le nickel est l'un des nanomatériaux les plus utilisés pour divers domaines d'application. Il est considéré comme un bon conducteur électrique, cela est dû à sa grande stabilité, sa grande résistance à la corrosion et à son excellente activité catalytique. Pour améliorer l'activité du nickel, on l'allie avec d'autres métaux et non-métaux comme le tungstène, molybdène et le phosphore afin d'obtenir des alliages qui possèdent des caractéristiques d'adsorption optimales [7]. Comme nous le savons que le tungstène et le molybdène ne peut pas être déposé à partir de solution aqueuse de tungstène ou de molybdène directement, mais il est nécessaire d'électrodeposer l'élément W avec les éléments du groupe de fer (Ni, Co et Fe) selon le modèle Brenner [8]. Les revêtements d'alliage à base de nickel-tungstène (Ni-W) a été tentée à nombreuse reprise pour l'utilisation dans une variété d'application industriel, en raison de leur capacité suffisant d'améliorer les propriétés technologique des surfaces métalliques, telles que sa meilleure résistance à la traction, son point de fusion élevé 3410°C et le module d'élasticité de Young isotrope élevé, sans oublier le faible coefficient thermique linéaire. Ce dernier se caractérise par une dureté et une grande résistance à l'usure [9], et nous constatant également qu'il n'est nocif ni pour l'être humain ni pour l'environnement. C'est ce qui le distinguait des autres revêtements métalliques par le remplacement du revêtement de chrome dur. Grâce à l'ensemble de ses propriétés précédemment citées, nous constatons que l'alliage nickel-tungstène a plusieurs applications, dont nous mentionnons: revêtement anti corrosion, électrolyse, revêtement anti-usure, industries de l'hydrogène,

électro-catalyse, micromécanique, micro-électromécanique. Pour être plus clair, nous avons montré cela dans le schéma 1 suivant :



*Schéma 1. Différentes applications de l'alliage Ni-W.*

Les revêtements Ni-W ayant différentes teneurs en poids en % de W ont été déposés sur des substrats métalliques soit par pulvérisation [10], soit par des techniques électrolytiques (électrodéposition) [11-14]. Cependant, l'électrodéposition ou le dépôt électrochimique, est connu depuis plus d'un siècle, il est considérée comme l'un des procédés de dépôt les plus importants pour la production de revêtements métalliques purs et alliés [15-17]. On peut facilement comprendre que les revêtements nanocristallins de Ni-W en raison de leurs propriétés importantes, ont attiré beaucoup d'attention dans la communauté scientifique et industrielle [18].

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'influence de revêtement d'alliage nickel-tungstène (Ni-W) sur le substrat métallique de cuivre par voie électrochimique. Cela se fait en variant l'effet de la concentration de W sur les performances du revêtement d'alliage Ni-W, en utilisant à la fois les méthodes électrochimiques (VC et SIE), la microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectrométrie de la fluorescence X (XRF).

## 2. Expérimentale

Les expériences électrochimiques ont été réalisées dans une cellule électrochimique contenant un électrolyte avec trois électrodes reliées et contrôlées par un Potentiostat/Galvanostat (votalab PGZ 301) pilotées par ordinateur à l'aide d'un logiciel Voltalab 4. Une plaque métallique de cuivre pur 99.99% ( $S=1\text{ cm}^2$ ) a été utilisée comme électrode de travail. Une électrode au calomel saturée en KCl (ECS), dont le potentiel est de +242 mV/ENH à température standard 25°C, a été utilisée comme électrode de référence. Une plaque de platine (Pt) a été utilisée comme contre-électrode ( $S=1\text{ cm}^2$ ). La solution électrolytique utilisée pour l'électrodéposition du nickel seul, composé d'une solution aqueuse de sulfate de nickel ( $\text{NiSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ ) et de citrate de sodium ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7, 2\text{H}_2\text{O}$ ). L'alliage Ni-W a été déposé à partir d'une solution électrolytique de sulfate de nickel et de tungstate de sodium ( $\text{Na}_2\text{WO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ). La morphologie de surface obtenue a été examinée à l'aide d'une microscopie électronique à balayage (JEOL NeoScope JCM 5000), La composition des dépôts a été identifiée par la spectrométrie de la fluorescence X (Super mini 200-ZSX Primus VI Spectrophotometer). Les conditions d'élaboration de l'alliage Ni-W sont regroupées dans le tableau I.

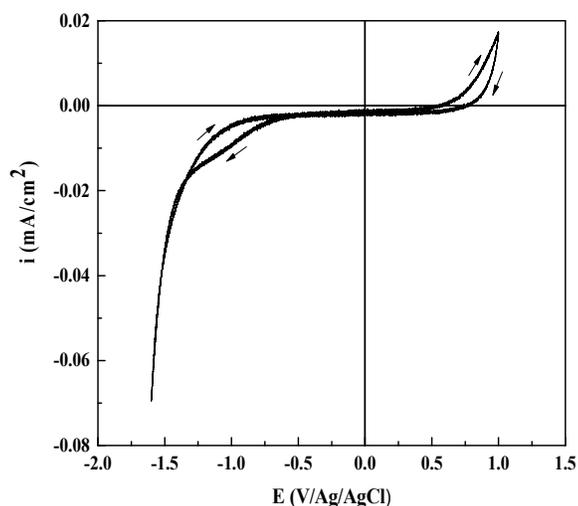
**Tableau I.** Les conditions d'électrodéposition (électrolytique) de l'alliage nickel-tungstène sur cuivre.

Bain [Ni]/[W]	Concentration des électrolytes (mol/l)				pH	Température (°C)
	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	$\text{NiSO}_4$	$\text{Na}_2\text{WO}_4$		
1/1	1	0.2	0.1	0.1	6.2	60
1/2	1	0.2	0.1	0.2		
2/1	1	0.2	0.2	0.1		

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Voltampérométrie cyclique (VC)

La figure 1 montre un voltampérogramme typique de substrat de cuivre dans un bain électrolytique qui contient 1 M de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et 0.2 M  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  avec une vitesse de balayage de 20 mV/s à pH=6.2.



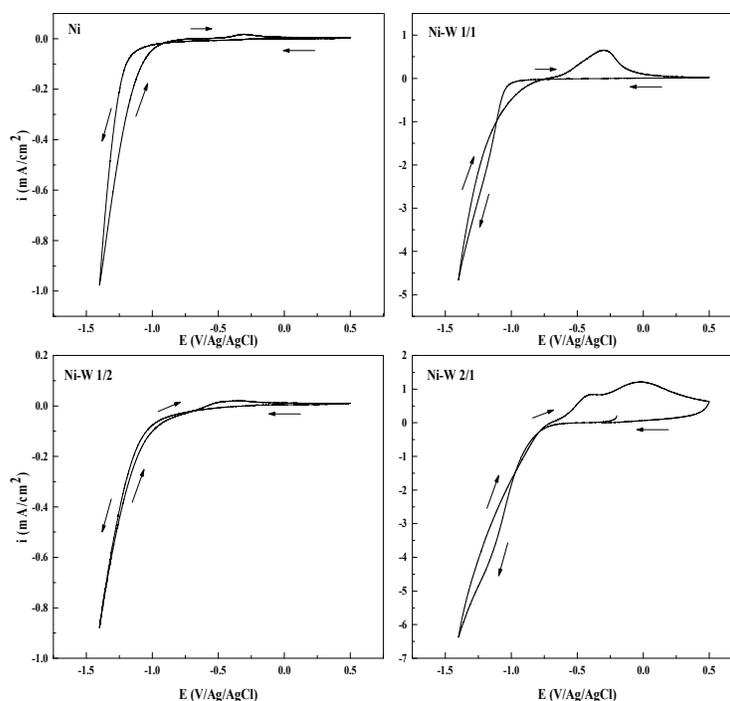
**Figure 1.** Voltampéromme cyclique d'une électrode de cuivre dans un électrolyte contenant 1 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et 0.2 M  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  avec une vitesse de balayage de 20 mV/s.

D'après le voltampéromme cyclique obtenu dans la **figure 1**. On constate deux courants, un cathodique et l'autre anodique. Ce dernier est dû au dégagement de l'oxygène autour de + 0.7 V/Ag/AgCl. Un grand courant cathodique est observé à un potentiel autour de - 1.0 V/Ag/AgCl, attribué au dégagement de l'hydrogène. Ceci indique clairement la présence inévitable de cette réaction concurrente lors de l'électrodéposition des métaux en solution aqueuse [19].

La **figure 2** montre un voltampéromme de Ni seul et les trois rapports  $[\text{Ni}]/[\text{W}]$  dans l'alliage Ni-W, avec un pH de l'électrolyte égal 6.2, enregistré dans un intervalle de potentiel entre + 0.5 V/Ag/AgCl et - 1.4 V/Ag/AgCl. La vitesse de balayage dans toutes les voltaméromme est fixée à 20 mV/s.

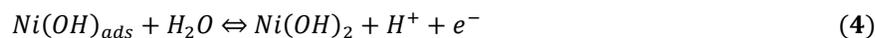
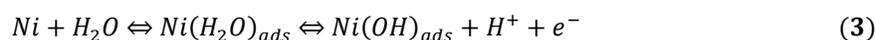
Au cours du balayage aller, un seul pic de réduction à environ - 1.1 V/Ag/AgCl attribué à la réduction des ions  $\text{Ni}^{2+}$  est observé selon la réaction **(1)** :





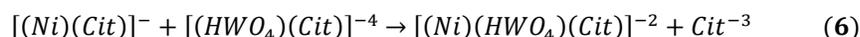
**Figure 2.** Voltampérogramme cyclique d'une électrode de FTO dans un électrolyte contenant 1 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0.2 M  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  et les rapports de concentration de Ni/W (1/1, 1/2 et 2/1), avec une vitesse de balayage de 20 mV/s.

Au balayage retour, un seul pic anodique est observé aussi à - 0.3 V/Ag/AgCl pour les deux rapports de concentration 1/1 et 1/2. Ce pic peuvent être décrit à travers la séquence de deux possibles réactions qui se dérouleraient en milieu quasi-neutre ainsi : la réaction anodique de dissolution du Ni déposé lors du balayage aller (réaction 2) ou bien une autre réaction anodique qui implique de fortes interactions entre la molécule d'eau et le substrat en nickel, conduisant à l'apparition d'adsorbats primaires de type  $\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_{\text{ads}}$  en équilibre avec  $(\text{NiOH})_{\text{ads}}$  [20]. La dissolution du dépôt en nickel procède par les trois réactions **3**, **4** et **5** [21] :

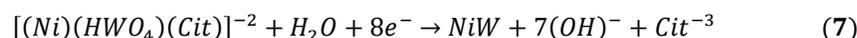


Un croisement entre les branches anodiques et cathodiques a été également observé pour toutes les courbes (**figure 2**), caractéristique d'un processus de nucléation et croissance.

La déposition de l'alliage Ni-W pour les trois rapports de concentration (1/1, 1/2 et 2/1) se fait par ajout du tungstate au bain de nickel à travers la formation d'un précurseur du type  $[(Ni)(HWO_4)(Cit)]^{2-}$  [18]. L'espèce nickel-citrate réagit avec le complexe tungstate-citrate pour former un complexe ternaire en solution ou à la surface de l'électrode de travail :



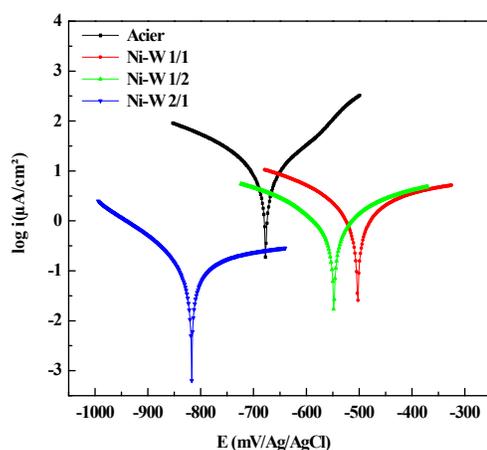
La réduction de ce précurseur ternaire conduit à la formation l'alliage Ni-W :



Le processus électrochimique se déroulant pour les systèmes étudié peut-être mieux élucidé lorsque les limites de balayage cathodiques sont plus étendues. La **figure 2** montre les parties anodiques des voltampérogramme correspondants aux systèmes de Ni et de l'alliage Ni-W pour les deux rapports de concentration 1/1 et 2/1. Il est clairement indiqué que les pics anodiques résultants des alliages sont nettement plus larges et plus intense que ceux du nickel seul. Pour le rapport de concentration de 2/1, ont remarqué l'apparition de deux pics anodiques qu'ils ont attribués à la formation d'un mélange de Ni-W et leurs oxydes,  $(Ni(OH)_2)$  et  $WO_3$ . Ces résultats sont observés aussi par Obradovic et al [22]. Par contre les deux rapports de concentration de 1/1 et 1/2, un seul pic anodique est observé à - 0.30 et - 0.36 V/Ag/AgCl pour les deux rapports de concentration 1/1 et 1/2, respectivement.

### 3.2 Courbes de polarisation de Tafel

Les courbes de Tafel obtenues pour les dépôts électrolytiques de Ni-W dans une solution de NaCl (3.5%) à une densité de courant fixé à -150 mA/cm<sup>2</sup>. Les courbes de Tafel pour les quatre l'échantillon élaboré avec et sans l'alliage Ni-W sont représentées dans la **figure 3**.



**Figure 3.** Courbes de polarisation de l'alliage Ni-W<sub>1</sub>, Ni-W<sub>2</sub> et Ni-W<sub>3</sub> élaboré à partir des Bain1, Bain2 et Bain3 respectivement, dans une solution électrolytique de 3.5 % KCl à une vitesse de balayage de 2 mV/s.

Les alliages Ni-W élaborées à partir du rapport de concentration de Ni/W 1/1 et 1/2 sur Cu ont une protection anodique par rapport à l'acier. Par contre l'alliage Ni-W élaboré a un rapport de concentration de 2/1, il a une protection cathodique par rapport à l'acier. Les valeurs du potentiel de corrosion ( $E_{\text{corr}}$ ), de densité de courant de corrosion ( $i_{\text{corr}}$ ), la résistance de polarisation ( $R_p$ ) et le taux de corrosion sont présentés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Les paramètres cinétiques  $E_{\text{corr}}$ ,  $i_{\text{corr}}$ ,  $R_p$ ,  $\beta_a$  et  $\beta_c$  lors des électrodépôts de Ni-W dans une solution de 3.5% NaCl à une densité de courant égal - 100 mA/cm<sup>2</sup>.

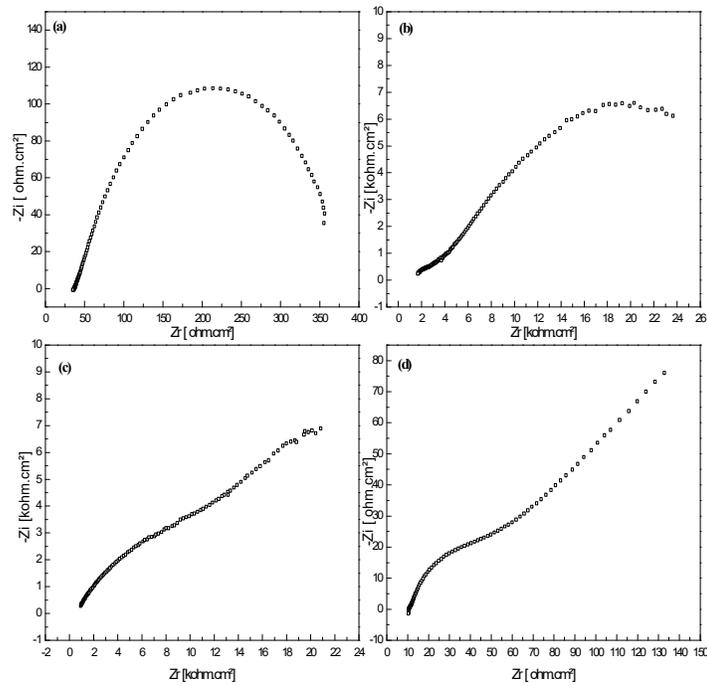
Paramètres de Tafel	Acier	NiW 1\1	NiW 1\2	NiW 2\1
$E (i=0)$ (mV/Ag/AgCl)	-676.9	-502.7	-547.9	-817.1
$I_{\text{corrosion}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	7.0148	2.7275	1.4566	142.6
$R_p$ (kohm.cm <sup>2</sup> )	2.85	23.05	35.03	0.27415
$\beta_a$ (mV/Ag/AgCl)	114.3	633.0	328.6	558.9
$\beta_c$ (mV/Ag/AgCl)	-120.2	-298.2	-303.8	-146.0

Il est claire que l'alliage Ni-W élaboré à un rapport de 1/1, était plus résistant à la corrosion par rapport l'acier et les autres alliages Ni-W (1/2 et

2/1). On observe aussi que la densité de courant de corrosion de l'alliage Ni-W élaboré à un rapport de 1/2 était faible par rapport à l'acier et les autres alliages.

### 3.3 Courbe de spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

Le comportement de corrosion des alliages Ni-W, a été étudié par la technique de la spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) dans un bain salé qui contient du NaCl (3.5%). La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) a été appliquée au potentiel d'abandon, selon le modèle de Nyquist, en balayant de 100 KHz à 10 mHz avec une amplitude de 10 mV. Les courbes de Nyquist pour les alliages Ni-W sont présentées dans la **figure 4**.



**Figure 4.** Courbes de Nyquist en solution (NaCl 3.5%) de l'acier (a) et des dépôts Ni-W obtenus à différents rapport de concentration [1/1], 1/2] et [2/1] pour (b), (c) et (d), respectivement.

Les diagrammes de Nyquist pour les trois rapports de concentration Ni/W dans l'alliage Ni-W sont présentés dans la **figure 4**. Pour la **figure 4a et b** on remarque une seule boucle capacitive caractéristique d'un

processus de transfert de charge observée dans la région des hautes et à moyennes fréquences (HF), résultant d'une combinaison de la résistance de transfert de charge  $R_{tc}$  et de la capacité de la double couche  $C_{dc}$ . Pour la **figure 4c** la courbe présente une boucle capacitive dans le domaine à HF suivie par une droite aux basses fréquences (BF), qui sont respectivement caractéristiques d'un processus de transfert de charge et d'un processus de diffusion, respectivement. Pour la **figure 4d** aussi la courbe présente une boucle capacitive dans le domaine à HF suivie par une droite de weber caractéristique de processus de diffusion.

Les valeurs de la résistance de transfert de charge  $R_{tc}$  et de la capacité de la double couche  $C_{dl}$  relevées à partir des diagrammes d'impédances électrochimique pour le substrat de l'acier et les dépôts de l'alliage Ni-W pour les trois rapports sont rassemblées dans le tableau 3. La densité du courant imposée elle est fixée pour tout l'échantillon élaboré a une valeur égal - 150 mA/cm<sup>2</sup>. Nous comparons la résistance de l'acier avec l'alliage Ni-W obtenues d'après les résultats de l'SIE, en remarquant que la résistance maximale trouvée est de 35.86 Kohm.cm<sup>2</sup>, pour l'alliage Ni-W élaboré à un rapport de 1/1. La capacité de la double couche électrochimique maximale est de 2.654 mF/cm pour le revêtement de d'alliage Ni-W à un rapport de 2/1.

**Tableau 3.** Valeurs de  $R_s$ ,  $R_{tc}$  et  $C_{dl}$  relevées du diagramme d'impédance de l'alliage Ni-W dans une solution de NaCl (3.5%).

	Acier	NiW 1\1	NiW 1\2	NiW 2\1
$R_s$ (kohm.cm <sup>2</sup> )	0.382	0.376	0.404	0.380
$R_{tc}$ (kohm.cm <sup>2</sup> )	0.351	35.86	20.87	8.976
$C_{dl}$ (mF\cm <sup>2</sup> )	2.550	0.124	0.341	2.654

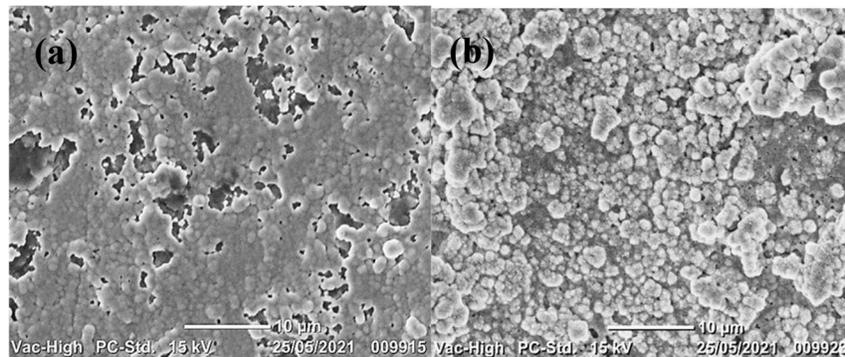
La diminution de la capacité  $C_{dl}$  ainsi que l'augmentation de la résistance  $R_{tc}$  avec l'augmentation de la teneur en W montre des surfaces de moins en moins actives et un transfert de charge à l'interface métal-solution de plus en plus difficile, indiquant que la résistance à la corrosion en milieu NaCl de l'alliage Ni-W augmente au fur à mesure que la teneur en W augmente. Ce résultat est en bon accord avec ceux obtenus à partir

des courbes de polarisation de Tafel. *Hui et al* [23] ont montré que l'élément W, est un facteur qui améliore la résistance à la corrosion et ils ont proposé que le tungstène migre préférentiellement au surface pour former des oxydes de W, durant sa corrosion.

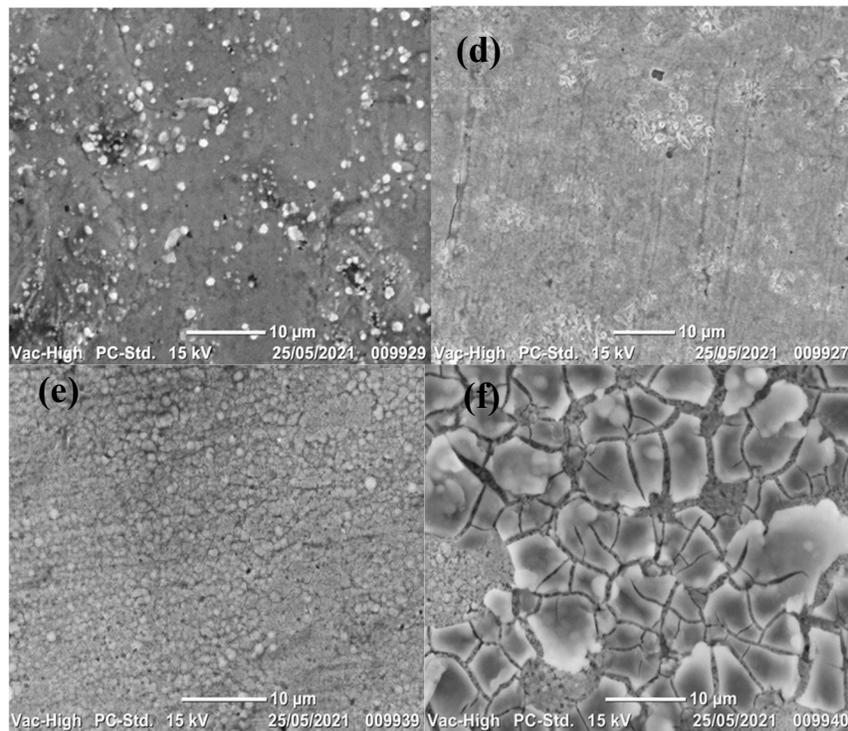
### 3.4 Caractérisation de l'alliage NiW

#### 3.4.1 Analyse morphologique par MEB

La **figure 5** présente la morphologie de la surface par MEB des couches de l'alliage Ni-W déposée électrochimiquement sur des substrats en cuivre à température ambiante. Les dépôts obtenus sont hétérogènes et couvraient toute la surface du substrat. Les images de MEB du dépôt de Ni-W élaboré à  $-100 \text{ mA/cm}^2$  pour les trois rapports de concentration Ni/W sont présentées dans la **figure 5.a, c et e**. Ces images montrent des clusters presque sphériques de taille petite avec une rugosité hétérogène de surface de dépôts (présence de défauts). Ceci est en accord avec les caractéristiques attendues pour la formation des alliages amorphes [24]. Les images de l'alliage Ni-W obtenus à  $-150 \text{ mA/cm}^2$  montrent une morphologie nodulaire avec moins de défauts vis-à-vis de la rugosité de surface (**figure 5.b et d**), tandis que l'alliage déposé à  $-150 \text{ mA/cm}^2$  dans un électrolyte ou le rapport de concentration est 2/1 (**figure 5.f**) contienne des fissures. Ces dernières peuvent traverser les grains indiquant qu'ils peuvent être à l'origine soit à la relaxation de la contrainte de tension interne dans les couches déposés de l'alliage Ni-W, soit à la libération d'hydrogène piégé dans les dépôts qui entraîne une forte contrainte de tension développant ainsi des microfissurations dans la structure de l'alliage Ni-W.



(c)



**Figure III.5.** Images morphologique obtenu par MEB de l'alliage Ni-W obtenu sur une surface de cuivre a différentes concentration de W dans le bain Ni-W (1/1a et b, 1/2 c et d, et 2/1 e et f) et à différentes densités de courants  $-100 \text{ mA/cm}^2$  (a, c et e) et  $-150 \text{ mA/cm}^2$  (b, d, f).

Pour l'alliage Ni-W la présence des fortes contraintes des surfaces relative ou microfissures est très fréquentes pour tous le film de ce type d'alliage. La même observation a été montré par Mizushima *et al* [25], qui ont attribué se phénomène probablement à la relaxation d'une résistance à la tension interne dans le dépôt du à la dissolution de l'hydrogène lors de l'électrodéposition du Ni, qui provoque des fissures dans la direction de l'épaisseur de la couche. Autre étude réalisé par Mizushima *et al* [26], qui ont montré, que l'origine des fissures dans le dépôt Ni-W est due aux coefficients d'expansion thermal de Cu, Ni et de l'alliage Ni-W. Cette différence entre le substrat de Cu et les éléments Ni-W déposés a pour conséquence sut la formation de dépôt, ou les grains peuvent être liés à la formation des bulles d'hydrogène au cours de la déposition.

#### 3.4.2 Analyse élémentaire par XRF

L'analyse par la spectrométrie de la fluorescence X (XRF) montre le pourcentage massique de tungstène dans les dépôts de Ni-W à - 100 et - 150 mA/cm<sup>2</sup> pour différents rapport de concentration des deux éléments Ni et W ([1/1], [1/2] et [2/1]).

Le **tableau 4** montre la teneur en W dans les alliages Ni-W en fonction de la densité du courant appliqué. Comme on peut le constater, la teneur en W dans le dépôt de l'alliage augmente avec l'augmentation de la densité du courant appliqué, jusqu'à ce qu'il atteigne un maximum de 6 % (5.22 % en poids) à -150 mA/cm<sup>2</sup> pour le dépôt élaboré a un rapport de concentration de Ni-W 2/1. Les dépôts élaborés -100 mA/cm<sup>2</sup> présentent une faible teneur en W dans le dépôt. Un comportement similaire a été observé sur les alliages Ni-W déposés sous régime galvanostatique [27]. Il est bien établi que le citrate, en tant que ligand, forme plusieurs ions complexes avec le nickel. Dans un bain de citrate à pH faible (pH ≤ 3), la solution contient principalement des espèces de NiCitH en plus des ions libres de nickel.

**Tableau 4.** La teneur en tungstène pour l'alliage Ni-W déposé à différents valeurs de la densité du courant appliqué et à différents rapport de concentration de Ni et W.

Rapport du bain [Ni]/ [W]	i (mA/cm <sup>2</sup> )	Composition de l'alliage
1/1	-100	Ni <sub>99</sub> -W <sub>01</sub>
	-150	Ni <sub>97</sub> -W <sub>03</sub>
1/2	-100	Ni <sub>95</sub> -W <sub>05</sub>
	-150	Ni <sub>94</sub> -W <sub>06</sub>
2/1	-100	Ni <sub>96</sub> -W <sub>04</sub>
	-150	Ni <sub>95</sub> -W <sub>05</sub>

#### 4. Conclusion

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la formation électrochimique de films de l'alliage Ni-W sur un substrat de cuivre à pH=6.2. Nous avons tenté de relier les paramètres de l'électrodéposition aux processus de corrosion. Le changement du rapport Ni/W dans l'électrolyte a permis d'observer des modifications dans les courbes voltampérométriques, selon la concentration des deux éléments Ni et W. Les courbes de polarisations de Tafel des alliages Ni-W élaborées à partir des trois rapports de concentration de Ni/W à -150 mA/cm<sup>2</sup> sur Cu, ont

une protection mixte anodique et cathodique par rapport à l'acier. Les mesures effectuées par la spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) ont montrés une boucle capacitive à haute fréquence (HF) suivie d'une droite à basse fréquence (BF) pour les deux rapports de concentration 1/2 et 2/1. L'impédance électrochimique à indiquant aussi que la résistance à la corrosion en milieu NaCl (3.5 %) de l'alliage Ni-W augmente au fur et à mesure que la teneur en W augmente. L'étude morphologique à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB) montre une présence de microfissures typiques pour ce type d'alliage Ni-W élaboré à des conditions où le courant égal - 150 mA/cm<sup>2</sup> et le rapport de concentration de Ni sur W est 2/1. L'analyse élémentaire par spectrométrie de la fluorescence X (XRF) à montrer un alliage riche en Ni pour tous les dépôts.

### Remerciement

*Nos remerciements à Ms le Professeur A. Azizi de la Faculté Sciences, Université Ferhat Abbas Sétif-1, Algérie.*

### References

- [1] L. Zhang, T. J. Webster, *Nanotoday* 4 (2009) 66-80.
- [2] S. Parveen, R. Misra, S.K. Sahoo, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8(2) (2012) 147-166.
- [3] N.R. Shiju, V.V. Gulians, *Applied Catalysis A: General* 356 (2009) 1-17.
- [4] I. Shteplyuk, V. Khranovskyy, A. Ievtushenko, R. Yakimova, *Materials* 14 (2021) 1035.
- [5] K. Kim, B. Jung, J. Kim, W. Kim, *Solar Energy Materials Solar Cells* 94 (2010) 1835-1839.
- [6] A.S. Edelstein, R.C. Cammaratra, *Nanomaterials: synthesis, properties and applications*, Bristol: Institute of physics, 2<sup>nd</sup> Edition (1996) pages 618.
- [7] M. Metikos-Hukovic, Z. Grubac, N. Radic, A. Tonejc, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 249 (2006) 172-180.
- [8] G. S. Tasic, U. Lacnjevac, M. M. Tasic, M. M. Kaninski, V. M. Nikolic, D. L. Zugic, V. D. Jovic, *international journal of hydrogen energy* 38 (2013) 4291-4297
- [9] C. N. Panagopoulos, G. D. Plainakis, M. G. Tsoutsouva, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology* 5 (2015) 65-72.
- [10] M. Metikoš-Huković, Z. Grubač, N. Radić, A. Tonejc, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 249 (2006) 172-181.
- [11] A. Brenner, *Electrodeposition of Alloys: Principles and Practice*, Academic Press Inc, London, Volume 2 (1963) pages 65.

- [12] I. Matsui, Y. Takigawa, T. Uesugi, *Materials Science & Engineering*, 578 (2013) 318-322.
- [13] Y. Boonyongmaneerat, K. Saengkiattiyut, S. Saenapitak, S. Sangsuk, *Surface & Coatings Technology* 203 (2009) 3590-3594.
- [14] P. Indyka, E. Beltowska-Lehman, L. Tarkowski, A. Bigos, E. García-Lecina, *Journal of Alloys and Compounds* 590 (2014) 75-79.
- [15] H. Faid, L. Mentar, M.R. Khelladi, A. Azizi, *Surface Engineering* 33 (2017) 529-535.
- [16] S. Tebbakh, L. Mentar, Y. Messaoudi, M.R. Khelladi, A. Azizi, *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 51 (12) (2021) 1796-1802.
- [17] Y. Messaoudi, H. Belhadj, M.R. Khelladi, A. Azizi, *RSC Advances* 12 (2022) 29143-29150.
- [18] N. Eliaza, T.M. Sridhara, E. Gileadib, *Electrochimica Acta* 50 (2005) 2893-2904.
- [19] J. O'M. Bockris, S. U. M. Khan, W: *Surface Electrochemistry*, Plenum Press, New York (1993) pages 833.
- [20] SG. Real, MR. Barbosa, JR. Vilche, AJ. Arvia, *Journal of the Electrochemical Society* 137 (1990) 1696-1702.
- [21] V. Schroder, B. Emonts, H. Janssen, H.P. Schulze, *Chemical Engineering & Technology* 27 (2004) 847-851.
- [22] M. Obradovic, J. Stevanovic, A. Despic, R. Stevanovic, *Journal of the Serbian Chemical Society* 66 (2001) 899-912.
- [23] K.R. Sriraman, S. Ganesh Sundara Raman, S.K. Seshadri, *Materials Science and Engineering A*, 460-461 (2007) 39-45.
- [24] F.E. Lubovsky, *Amorphous Metallic Alloys (Butherworths in materiaks)*, Chapter 1, Schenectady USA (1983).
- [25] Io Mizushima, P. T. Tang, H. N. Hansen, M. A.J. Somers, *Electrochimica Acta* 51(2005) 888-896.
- [26] Io Mizushima, P. T. Tang, H. N. Hansen, M. A.J. Somers, *Electrochimica Acta* 51(2005) 6128-6134.
- [27] L. Elias, K. Scott, A.C. Hegdz, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24 (2015) 4182-4191.