

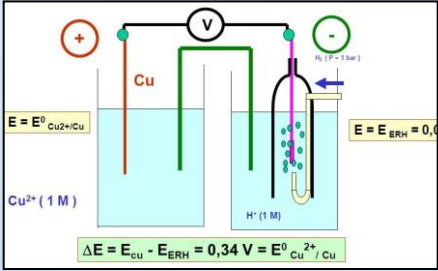
# Université Mohamed Khider- Biskra

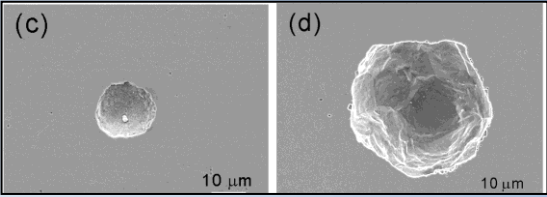
## Faculté des Sciences et de la Technologie

### Département de Génie mécanique

## Corrosion et protection des métaux

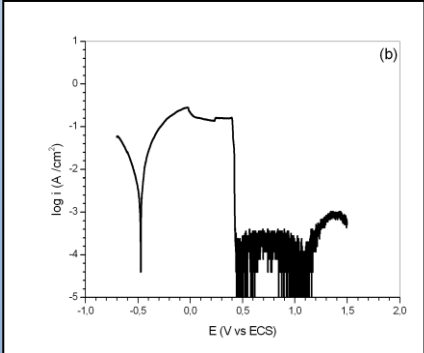
Notes de cours rédigées par :  
Hamza Bentrah

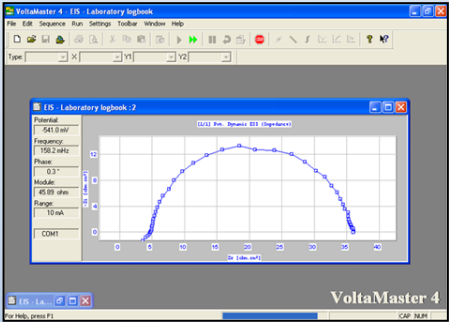




$$i = i_0 \exp\left(\frac{\eta}{b_a}\right) - i_0 \exp\left(-\frac{\eta}{b_c}\right)$$

$$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$$





$$2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$$

Pour les étudiants de troisième année Licence  
Option : Métallurgie physique

# Préambule

La corrosion est en fait le retour d'un métal à l'état dans lequel on le trouve dans la nature. Ce retour à l'état naturel peut se produire sans ou avec humidité. Par conséquent, nous distinguerons la corrosion sèche et la corrosion humide. Ce cours porte seulement sur l'étude des notions fondamentales et des fondements théoriques de phénomène de corrosion humide. Afin d'assurer le caractère pédagogique, toutes les notions abordées dans ce document sont strictement conformes au programme officiel. Ces notes de cours doivent être prises comme l'un des éléments contribuant au transfert de l'information. Ainsi, l'étudiant doit intégrer d'autres éléments, à l'instar des séances de travaux dirigés et travaux pratiques afin de compléter ce processus de transfert.

Par ailleurs, ces notes de cours sont réparties en six chapitres. Le premier chapitre traite les notions de base de la corrosion humide, à l'instar de la définition de l'agent oxydant et réducteur, degré d'oxydation, loi de Faraday et autres. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la thermodynamique des réactions de corrosion. Nous aborderons dans le troisième chapitre les fondements de la cinétique de corrosion humide. Le quatrième chapitre est dédié à l'étude de phénomène de passivation. Dans le cinquième chapitre, nous avons classé les différentes formes de corrosion humide. Nous aborderons dans le dernier chapitre les différents moyens de protection contre la corrosion en se basant sur les alliages utilisés, les inhibiteurs de corrosion, la protection cathodique, les revêtements et les peintures.

## Table des matières

1	Chapitre 1 : Introduction et notions de base.....	1
1.1	Importance économique de la corrosion.....	2
1.2	Surface des matériaux-topographie .....	3
1.2.1	Topographie à l'échelle microscopique .....	4
1.2.2	Topographie à l'échelle atomique.....	4
1.3	Réaction de corrosion (oxydo-réduction) .....	5
1.3.1	Oxydant et Réducteur.....	5
1.3.2	Vocabulaire .....	5
1.3.3	Degré d'Oxydation.....	7
1.3.4	Méthode pour équilibrer des systèmes partiels d'oxydo-réduction (équations de demi-réaction redox) .....	7
1.3.5	Comment équilibrer une réaction d'oxydo-réduction .....	8
1.4	Piles électrochimiques .....	8
1.5	Loi de Faraday .....	9
2	Chapitre 2 : Thermodynamique des réactions de corrosion.....	12
2.1	Equilibre électrochimique.....	13
2.1.1	Potentiel standard d'une réaction d'oxydo-réduction .....	13
2.2	Potentiel standard d'une électrode.....	13
2.2.1	Réaction d'électrode .....	13
2.2.2	Potentiel d'équilibre d'une électrode.....	14

2.2.3	Electrode standard à hydrogène .....	14
2.3	Loi de Nernst .....	16
2.4	Diagrammes potentiel-PH .....	17
2.4.1	Les conventions sur les droites frontières .....	17
2.4.2	Méthode de tracé d'un diagramme potentiel-pH .....	18
2.4.3	Quelques diagrammes potentiel-pH .....	19
3	Chapitre 3 : Cinétique électrochimique.....	25
3.1	Courbe de polarisation.....	26
3.1.1	Le transfert de charges .....	26
3.1.2	Le transport de masse .....	33
3.2	Techniques électrochimiques appliquées à la corrosion.....	33
3.2.1	Polarisation potentiodynamique .....	33
3.2.2	Résistance de polarisation $R_p$ .....	34
3.2.3	Voltamétrie cyclique .....	35
3.2.4	Spectroscopie d'impédance électrochimique .....	37
3.3	Méthodes d'impédance.....	37
3.3.1	Spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) .....	37
4	Chapitre 4 : Passivation.....	40
4.1	Principe de passivation .....	41
4.2	Alliages passivables.....	43
4.2.1	Usage général et usages particuliers.....	43
5	Chapitre 5 : Les différentes formes de corrosion .....	46

5.1	Les différentes formes de corrosion aqueuse et leurs mécanismes .....	47
5.1.1	Corrosion uniforme .....	47
5.1.2	Corrosion localisée .....	48
6	Chapitre 6 : Protection contre la corrosion.....	55
6.1	Alliages et domaines d'emploi .....	56
6.1.1	Les aciers inoxydables .....	56
6.1.2	Les alliages de cuivre .....	57
6.1.3	Les alliages d'aluminium.....	58
6.1.4	Les alliages de nickel .....	58
6.1.5	Le titane.....	59
6.1.6	Les alliages de zirconium .....	59
6.2	Traitement de surface et revêtements .....	60
6.3	Inhibiteurs de corrosion .....	60
6.3.1	Propriétés essentielles d'un inhibiteur de corrosion :.....	61
6.3.2	Les facteurs affectant la performance des inhibiteurs .....	61
6.3.3	Les classes d'inhibiteurs.....	64
6.3.4	Mécanisme d'inhibition des inhibiteurs organiques.....	64
6.3.5	Adsorption des inhibiteurs organique .....	65
6.3.6	Isotherme d'adsorption.....	69
6.3.7	Utilisation de composés organiques naturels comme inhibiteurs de corrosion .	71
6.4	Protection cathodique .....	72
6.4.1	Réalisation pratique de la protection cathodique .....	72

6.5	Peinture.....	74
6.5.1	Classification des peintures.....	74
6.5.2	Les peintures anticorrosion.....	74
7	Références bibliographiques.....	76

## Références bibliographiques

- [1] D. Landolt, Corrosion et chimie de surfaces des métaux, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- [2] F. Balbaud, C. Desgranges, C. Duhamel, Corrosion et protection des matériaux à haute température, Presses des Mines, 2011.
- [3] Les diagraphies de corrosion - acquisition des données et interprétation, Lavoisier, 2010.
- [4] B. Normand, Prévention et lutte contre la corrosion: une approche scientifique et technique, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.
- [5] D. Voet, J.G. Voet, L. Domenjoud, Biochimie, De Boeck Supérieur, 2016.
- [6] J.L. Burgot, Chimie analytique et équilibres ioniques, Éd. Tec & Doc, 2011.
- [7] C. Friedli, Chimie générale pour ingénieur, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2002.
- [8] H. Bentrach, Corrosion des ouvrages pétroliers : Utilisation de la gomme arabique comme inhibiteur environnemental pour l'acier API 5L X42 in: Département de Génie Mécanique, Université Mohamad Khider, BISKRA, Doctorat 2015.
- [9] Métaux et alliages passivables : Règles de choix et emplois types, Techniques de l'ingénieur, M 153, (1994).
- [10] R. Schmidt, L. Künzi, Comportement des matériaux dans les milieux biologiques: applications en médecine et biotechnologie, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1999.
- [11] S. Audisio, G. Béranger, Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2010.
- [12] H.S. Khatak, B. Raj, Corrosion of Austenitic Stainless Steels: Mechanism, Mitigation and Monitoring, Woodhead Publishing Limited, 2002.
- [13] C.-Q. Cheng, L.-I. Klinkenberg, Y. Ise, J. Zhao, E. Tada, A. Nishikata, Pitting corrosion of sensitised type 304 stainless steel under wet-dry cycling condition, Corros. Sci., 118 (2017) 217-226.
- [14] V. Ghetta, J. Fouletier, P. Taxil, Sels fondus à haute température, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2009.
- [15] G. Yang, K.B. Yoon, Y.C. Moon, Stress corrosion cracking of stainless steel pipes for Methyl-Methacrylate process plants, Engineering Failure Analysis, 29 (2013) 45-55.

## Références bibliographiques

---

- [16] F.G. Brière, Distribution et collecte des eaux, Presses internationales Polytechnique, 2012.
- [17] J.P. Baïlon, J.M. Dorlot, Des matériaux, Presses internationales Polytechnique, 2000.
- [18] M. Zhu, L. Sun, G. Ou, K. Wang, K. Wang, Y. Sun, Erosion corrosion failure analysis of the elbow in sour water stripper overhead condensing reflux system, *Engineering Failure Analysis*, 62 (2016) 93-102.
- [19] G. Béranger, , H. Mazille, Corrosion et anticorrosion – Pratique industrielle, Hermès Science Publications, Paris, 2002.
- [20] B. SANYAL, Organic compounds as corrosion inhibitors in different environments, *Prog. Org. Coat.*, 9 (1981) 165-236.
- [21] X. Li, S. Deng, H. Fu, Triazolyl blue tetrazolium bromide as a novel corrosion inhibitor for steel in HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions, *Corros. Sci.*, 53 (2011) 302-309.
- [22] X. Jiang, Y.G. Zheng, W. Ke, Effect of flow velocity and entrained sand on inhibition performances of two inhibitors for CO<sub>2</sub> corrosion of N80 steel in 3% NaCl solution, *Corros. Sci.*, 47 (2005) 2636-2658.
- [23] I.B. Obot, N.O. Obi-Egbedi, , S.A. Umoren, Antifungal drugs as corrosion inhibitors for aluminium in 0.1M HCl, *Corros. Sci.*, 51 (2009) 1868-1875.
- [24] E. McCafferty, Introduction to Corrosion Science, Springer, 2010.
- [25] R. Baskar, D. Kesavan, M. Gopiraman, K. Subramanian, Corrosion inhibition of mild steel in 1.0M hydrochloric acid medium by new photo-cross-linkable polymers, *Prog. Org. Coat.*, 77 (2014) 836-844.
- [26] M.A. Migahed, Corrosion inhibition of steel pipelines in oil fields by N,N-di(poly oxy ethylene) amino propyl lauryl amide, *Prog. Org. Coat.*, 54 (2005) 91-98.
- [27] I.B. Obot, D.D. Macdonald, , Z.M. Gasem, Density Functional Theory (DFT) as a powerful tool for designing new organic corrosion inhibitors. Part 1: An overview, *Corros. Sci.*, (2015).
- [28] M.H. Gonzalez, Etude d'un traitement multifonctionnel vert pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu CO<sub>2</sub>, in: Institut National Polytechnique de Toulouse, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, Doctorat 2011.
- [29] J. Aljourani, M.A. Golozar, K. Raeissi, The inhibition of carbon steel corrosion in hydrochloric and sulfuric acid media using some benzimidazole derivatives, *Mater. Chem. Phys.*, 121 (2010) 320-325.
- [30] Aziri.Sabrina, Etude de l'adsorption du nickel par des biosorbants, in: Département de chimie, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, Magister, 2012.



## Références bibliographiques

---

- [31] K.P.V. Kumar, M.S.N. Pillai, G.R. Thusnavis, Seed Extract of *Psidium guajava* as Ecofriendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Medium, *Journal of Materials Science & Technology*, 27 (2011) 1143-1149.
- [32] S.A. Umoren, U.M. Eduok, M.M. Solomon, A.P. Udoh, Corrosion inhibition by leaves and stem extracts of *Sida acuta* for mild steel in 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions investigated by chemical and spectroscopic techniques, *Arabian Journal of Chemistry*, (2011).
- [33] A.A. Al-Sarawy, A.S. Fouda, W.A.S. El-Dein, Some thiazole derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in acidic medium, *Desalination*, 229 (2008) 279-293.
- [34] O. Olivares, N.V. Likhanova, B. Gómez, J. Navarrete, M.E. Llanos-Serrano, E. Arce, J.M. Hallen, Electrochemical and XPS studies of decylamides of  $\alpha$ -amino acids adsorption on carbon steel in acidic environment, *Appl. Surf. Sci.*, 252 (2006) 2894-2909.
- [35] S. Banerjee, V. Srivastava, M.M. Singh, Chemically modified natural polysaccharide as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium, *Corros. Sci.*, 59 (2012) 35-41.
- [36] S.S. de Assunção Araújo Pereira, M.M. Pêgas, T.L. Fernández, M. Magalhães, T.G. Schöntag, D.C. Lago, L.F. de Senna, E. D'Elia, Inhibitory action of aqueous garlic peel extract on the corrosion of carbon steel in HCl solution, *Corros. Sci.*, 65 (2012) 360-366.
- [37] M. Lebrini, F. Robert, A. Lecante, C. Roos, Corrosion inhibition of C38 steel in 1M hydrochloric acid medium by alkaloids extract from *Oxandra asbeckii* plant, *Corros. Sci.*, 53 (2011) 687-695.
- [38] M. Faustin, A. Maciuk, P. Salvin, C. Roos, M. Lebrini, Corrosion inhibition of C38 steel by alkaloids extract of *Geissospermum laeve* in 1M hydrochloric acid: Electrochemical and phytochemical studies, *Corros. Sci.*, 92 (2015) 287-300.
- [39] L. Li, X. Zhang, J. Lei, J. He, S. Zhang, F. Pan, Adsorption and corrosion inhibition of *Osmanthus fragran* leaves extract on carbon steel, *Corros. Sci.*, 63 (2012) 82-90.
- [40] V.V. Torres, R.S. Amado, C.F. de Sá, T.L. Fernandez, C.A.d.S. Riehl, A.G. Torres, E. D'Elia, Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution, *Corros. Sci.*, 53 (2011) 2385-2392.
- [41] P.C. Okafor, M.E. Ikpi, I.E. Uwah, E.E. Ebenso, U.J. Ekpe, S.A. Umoren, Inhibitory action of *Phyllanthus amarus* extracts on the corrosion of mild steel in acidic media, *Corros. Sci.*, 50 (2008) 2310-2317.
- [42] P. Roy, P. Karfa, U. Adhikari, D. Sukul, Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by polyacrylamide grafted Guar gum with various grafting percentage: Effect of intramolecular synergism, *Corros. Sci.*, 88 (2014) 246-253.

## Références bibliographiques

---

- [43] P. Mourya, S. Banerjee, M.M. Singh, Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor, *Corros. Sci.*, 85 (2014) 352-363.
- [44] J.C. Laout, Protection et décoration par peinture, *Techniques de l'ingénieur*, M 1505, 2009.