LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

Classes préparatoires aux grandes écoles
MP — Physique-chimie
Année 2026-2027

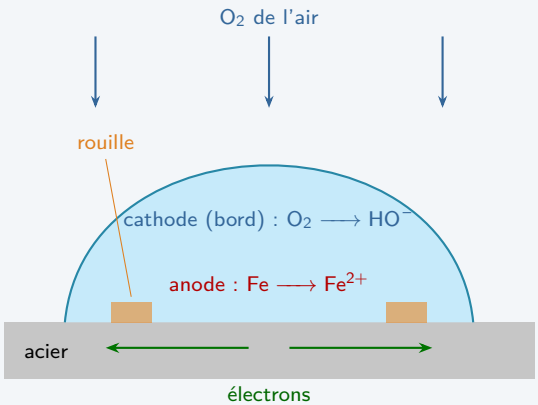
FICHE RÉSUMÉ

EC2

ÉLECTROCHIMIE

Corrosion humide et protection des métaux

Immunité, corrosion, passivation — Potentiel et courant de corrosion — Corrosion uniforme et différentielle — Aération différentielle — Revêtements — Anode sacrificielle et courant imposé — Protection anodique



« *Ô Temps, qui dévores toutes choses, et toi, jalouse vieillesse, vous détruisez tout.*

— Ovide, *Métamorphoses*, livre XV, v. 234–236 (vers l'an 8)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Courbes courant-potentiel »

EC2 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

La corrosion humide est l'oxydation électrochimique d'un métal par un oxydant de son environnement (H^+, O_2 dissous, eau) ; le diagramme potentiel-pH indique si elle est possible (domaines d'immunité, de corrosion, de passivation). Sa vitesse se lit sur les courbes courant-potentiel : le métal prend un potentiel mixte, le potentiel de corrosion, où $i_a = -i_c = i_{corr}$. On protège un métal en l'isolant (revêtements), en abaissant son potentiel dans le domaine d'immunité (anode sacrificielle, courant imposé) ou en le maintenant passif.

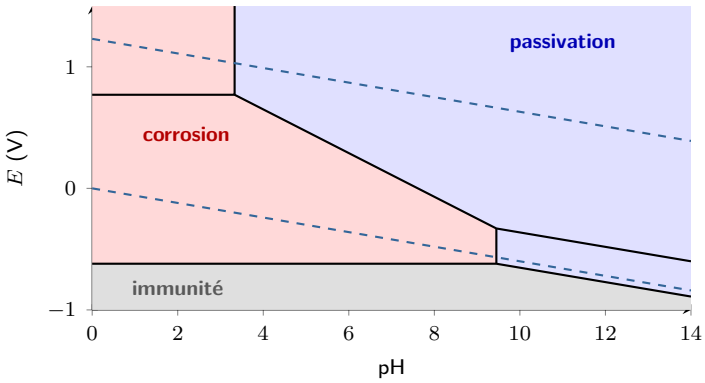
I Approche thermodynamique

Définition — Domaines d'un diagramme E-pH R

Concentration de tracé faible, typiquement $c_{tra} = 10^{-6}\,\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- **Immunité** : le métal est stable.
- **Corrosion** : une espèce soluble est stable (Fe^{2+}, Zn^{2+}, $Zn(OH)_4^{2-}$).
- **Passivation** : un oxyde ou hydroxyde solide est stable ; protecteur seulement s'il est compact et adhérent (Al, Cr, Ti, inox ; pas la rouille).

Corrosion sèche : réaction directe avec un gaz à haute température (diagrammes d'Ellingham).



Fer : l'immunité est sous la droite H_2O/H_2 ; le fer n'est stable ni dans l'eau désaérée ni dans l'eau aérée.

II Corrosion uniforme

Potentiel et courant de corrosion R D

$$i_a(E_{corr}) = -i_c(E_{corr}) = i_{corr} \qquad j_{corr} = \frac{i_{corr}}{S} \qquad v_{corr} = \frac{j_{corr}\,M}{nF\rho}$$

Réaction anodique $M \longrightarrow M^{n+} + n\,e^-$; réactions cathodiques : $2\,H^+ + 2\,e^- \longrightarrow H_2$ (acide), $O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^- \longrightarrow 4\,HO^-$ (aéré), réduction de l'eau (désaéré, lente). Fer : $j_{corr} = 10\,\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2} \Leftrightarrow 0{,}12\,\text{mm}$ par an.

Milieu	Oxydant	Vitesse contrôlée par
acide désaéré	H^+	surpotentiel de H^+/H_2 sur le métal (lent sur Zn, Pb ; accéléré par des impuretés nobles)
neutre ou basique aéré	O_2 dissous ($\approx 2{,}5 \times 10^{-4}\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$)	diffusion de O_2 : $i_{corr} \approx 4FSD[O_2]/\delta$, croît avec l'agitation
neutre désaéré	H_2O	très lente

Facteurs aggravants : acidité, aération et agitation, ions chlorure (piqûres, conductivité), température, impuretés et hétérogénéités, contraintes mécaniques, contact de deux métaux.

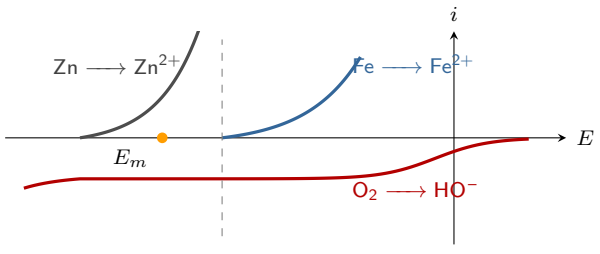
III Corrosion différentielle

Piles de corrosion R

- **Deux métaux en contact** : potentiel mixte commun ; le moins noble est l'anode et se corrode, la réduction de l'oxydant se fait aussi sur le plus noble. **Petite anode + grande cathode = attaque très rapide**.
- **Aération différentielle (règle d'Evans)** : la zone la moins aérée est anodique et se corrode ; la zone aérée est cathodique ($O_2 \longrightarrow HO^-$). Goutte d'Evans, crevasses, pieux sous la ligne d'eau, canalisations enterrées.
- **Hétérogénéités mécaniques** : zones écrouies anodiques (tête et pointe d'un clou).

IV Protection

Méthode	Principe	Exemples
barrière	isole le métal (inefficace si rayée)	peintures, vernis, plastiques
revêtement de conversion	couche insoluble adhérente	phosphatation, chromatation, anodisation
métal moins noble	anode sacrificielle si rayé : le fer reste protégé	zingage, galvanisation, électrozingage
métal plus noble	protège intact ; rayé, le fer s'oxyde vite	étamage, nickelage, chromage
anode sacrificielle	Zn, Mg, Al relié à la pièce ; E_m dans l'immunité	coques, chauffe-eau, plateformes
courant imposé	pièce au pôle −, anode auxiliaire inerte	pipelines, béton armé
passivation, protection anodique	potentiel maintenu dans le palier passif	inox ($Cr \geq 12\,\%$), cuves d'acide



Anode sacrificielle de zinc : E_m est sous la frontière d'immunité du fer (tirets).

Ordres de grandeur

- Coût de la corrosion : environ 3 % du PIB mondial.
- Capacités massiques théoriques des anodes : Zn $820\,\mathrm{A\cdot h\cdot kg^{-1}}$, Mg $2200\,\mathrm{A\cdot h\cdot kg^{-1}}$, Al $2980\,\mathrm{A\cdot h\cdot kg^{-1}}$.
- Acier en eau calme aérée : 0,1 à $0{,}2\,\mathrm{mm}$ par an ; inox passivé : moins de $1\,\mu\mathrm{m}$ par an.

V Méthodes et pièges

☞ Méthode — Analyser une situation de corrosion M

(1) Diagramme E-pH : le métal est-il dans un domaine de corrosion pour l'oxydant présent ? (2) Courbes i-E du métal et de l'oxydant *sur ce métal* (surpotentiel, palier de O_2) : potentiel mixte et i_{corr}. (3) Contact entre métaux ou zones : sommer les courants anodiques et cathodiques sur toutes les surfaces reliées. (4) Convertir j_{corr} en vitesse par la loi de Faraday.

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Le diagramme E-pH ne dit rien de la vitesse ni de la qualité protectrice d'un oxyde (aluminium).
- En protection cathodique, la pièce est la **cathode** (pôle $-$) ; la relier au pôle $+$ accélérerait sa corrosion.
- Un revêtement plus noble que le fer n'est protecteur que s'il est intact.
- $i_a = -i_c$ n'implique pas $j_a = -j_c$ si les surfaces anodique et cathodique diffèrent.

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ Je sais lire immunité, corrosion et passivation sur un diagramme E-pH.
- ☐ Je sais écrire les réactions partielles et définir E_{corr}, i_{corr}, j_{corr}.
- ☐ Je sais interpréter la corrosion en milieu acide ou aéré et calculer une vitesse de corrosion.
- ☐ Je sais expliquer la corrosion de deux métaux en contact et l'aération différentielle.
- ☐ Je sais comparer zingage et étamage à l'aide de courbes i-E.
- ☐ Je sais expliquer l'anode sacrificielle, le courant imposé et la protection anodique.