

# PT PHYSIQUE

## ELCH 3

### Corrosion humide



$$h]_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na} \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla} \text{Zn}^{\text{na} \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla} \text{Zn}^{\text{na} \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla \nabla} \text{rot } E =$$

$$\text{div} \vec{j} = 0 \quad \oint \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}^S} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}} \\ \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_{\text{vap}}^S} \right) = 0 \quad 130,7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Delta_{\text{vap}}^S = \sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\circ} \\ \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad \Delta_{\text{vap}}^S = \frac{\gamma \vec{E} \cdot \vec{B}}{2\mu_0} \vec{H} \mu_0 \bar{\varepsilon}_0 \vec{E} \\ - (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) \mathcal{E} V_{ri} \\$$

# OBJECTIFS DU CHAPITRE

## Objectifs :

À la fin de ce chapitre vous devrez être capable de :

- retrouver sur un diagramme E-pH les domaines de corrosion, passivation et immunité ;
- comprendre et reconnaître les situations de corrosion uniforme et différentielle ;
- Proposer une solution permettant de limiter la corrosion.

$$h|_e^{\circ} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{N}^{+} \text{H}^{+}} \text{Zn}^{\text{N}^{+} \text{H}^{+}} \text{C}_{\text{O}_{\text{S}}}^{\text{N}^{+}} \text{Zn}^{2+} \text{rot} \text{E} = \\ p \in \mathcal{H}(\text{j}\omega) = d_{\sum_j k_j}^{\text{N}^{+} \text{H}^{+}} \text{C}_{\text{O}_{\text{S}}}^{\text{N}^{+}} \text{Zn}^{2+} \text{rot} \text{E} = \\ \mathcal{H}(\text{j}\omega) = \text{exp} \frac{\text{N}^{+} \text{H}^{+}}{\partial \text{E}}$$

$$\begin{aligned}
& \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}} H_{\text{ALI}}}{\varepsilon_0} = \frac{d \frac{\mu_0}{\Delta_{\text{vap}} H^{\text{3d}}_{\text{FC}}} \vec{Q}_{\text{g}}}{T_{\text{vap}}} \\
& \text{div } \vec{j} = 0 \\
& \frac{1}{2\pi} \int_Q \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0^{\text{sc}}(H^{\text{2d}}_{\text{g}})} \right) = 0 \Big|_{\text{3d, 7J, K}^{-1}} \\
& \frac{\lambda_0}{j = \gamma \vec{E}} \quad \Delta_{\text{r}} G = \frac{1}{\delta \frac{\partial G}{\partial \xi} B} \frac{G^{\text{g}}_{\text{PT}}}{\sqrt{2\mu_0}} \vec{\mathcal{P}}_{\text{r}} H^{\text{g}} \mu_0 \bar{\varepsilon} \frac{P}{\delta} \\
& - (|\eta_{\text{Ox}}(i)| + |\eta_{\text{R}}^k(i)|) \vec{E} V_i \vec{r} \Big|_{\frac{1}{2} v^2 + gz +}
\end{aligned}$$

# OBJECTIFS DU CHAPITRE

- À la fin de ce chapitre, vous devez être capable de :
  - retrouver sur un diagramme E-pH les domaines de corrosion, passivation et immunité ;
  - comprendre et reconnaître les situations de corrosion uniforme et différentielle ;
  - proposer une solution permettant de limiter la corrosion.

$$h|_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na} \pm \frac{1}{p}} \text{Zn}^{\text{na} \pm \frac{1}{p}} \text{C}^{\text{na} \pm \frac{1}{p}} \text{Zn}^{\text{na} \pm \frac{1}{p}} \text{rot } E =$$

$$\begin{aligned} \text{div } \vec{j} &= 0 & \oint \vec{S} \cdot d\vec{S} &= \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}^{\text{H}_2\text{O}}} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}} \\ \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} &= \varphi_0^{\mathcal{F}(E_{\oplus}^{\circ})} \vec{\mu}_{B_{\oplus}^{\circ}}^{\text{H}_2\text{(g)}} = 0 & \Delta_{\text{vap}}^{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{130,71 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}{\sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\circ}} \\ \vec{j} &= \gamma \vec{E} & \Delta_{\text{r}} G &= \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \end{aligned}$$

# DÉFINITIONS

## Corrosion métallique

On appelle *corrosion d'un métal M*, l'oxydation de cet élément sous forme d'ion  $M^{n+}$

## Corrosion humide

On appelle *corrosion humide*, toute corrosion ayant lieu à température ambiante, et en présence d'humidité qui sera matérialisée par une pellicule d'eau recouvrant localement ou totalement le métal.

## Courant de corrosion

On appelle *courant de corrosion*, la valeur du courant d'oxydation correspondant au potentiel mixte.

$$\tilde{h}_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na} \times \frac{1}{p}} \text{Zn}^{\frac{1}{p} \times \text{Cu}^{\text{na}}} \tilde{\mathcal{E}}^{\text{na}} \tilde{\mathcal{E}}^{\text{na}} \text{rot } E$$

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{j} &= 0 & \oint \vec{S} \cdot d\vec{S} &= \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}^{\text{S}}} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}} \\ \frac{1}{\lambda_0} \pi^Q (SM)^{\text{vap}} &= \varphi_0^F (E_{\oplus}^{\text{vap}} - \mu_{E_{\oplus}}^{\text{vap}})^{\text{vap}} = 0 & \Delta_{\text{r}} H^{\text{vap}} &= \sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\text{vap}} \\ \vec{j} &= \gamma \vec{E} & \Delta_{\text{r}} G &= \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \end{aligned}$$

# CORROSION UNIFORME

## Corrosion uniforme

On appelle *corrosion uniforme*, la réaction d'oxydoréduction entre une surface métallique homogène et un mélange réactionnel lui même homogène.

Il n'y a pas de circulation d'électrons à grande échelle dans le métal.

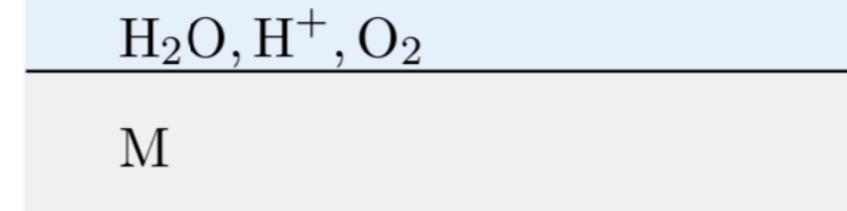


Schéma de principe — avant corrosion

$$h]_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na}+} \text{Zn}^{\text{na}+} \text{Cl}^{\text{na}-} \text{Zn}^{\text{na}+} \text{rot } E =$$

$$\vec{H}(\text{j}\omega) = d \frac{\sum_k b_k^{\text{na}}}{\sum_j K_j^{\text{na}}} \exp \frac{\text{j}\omega}{\tau}$$

$$\text{div} \vec{j} = 0$$

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}^{\text{na}}} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}}$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_{\text{B}}^{\text{na}} (E_{\text{B}}^{\text{na}})^2} \right) = 0$$

$$\Delta_{\text{r}} G = \frac{\partial \Delta_{\text{r}} G^{\text{na}}}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \vec{H} \mu_0 \varepsilon_0 \vec{P}$$

$$- (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) \mathcal{E} V_{ri}$$

# CORROSION UNIFORME : IMMUNITÉ, PASSIVATION, CORROSION

## Domaine d'immunité

On appelle *domaine d'immunité* la zone du diagramme  $E - \text{pH}$  où l'espèce métallique étudiée est au nombre d'oxydation nul. Elle y est stable thermodynamiquement et ne peut être oxydée.

## Domaine de corrosion

On appelle *domaine de corrosion* la zone du diagramme  $E - \text{pH}$  où l'espèce métallique se trouve sous forme ionique. Le métal y est donc oxydé pour donner une espèce soluble.

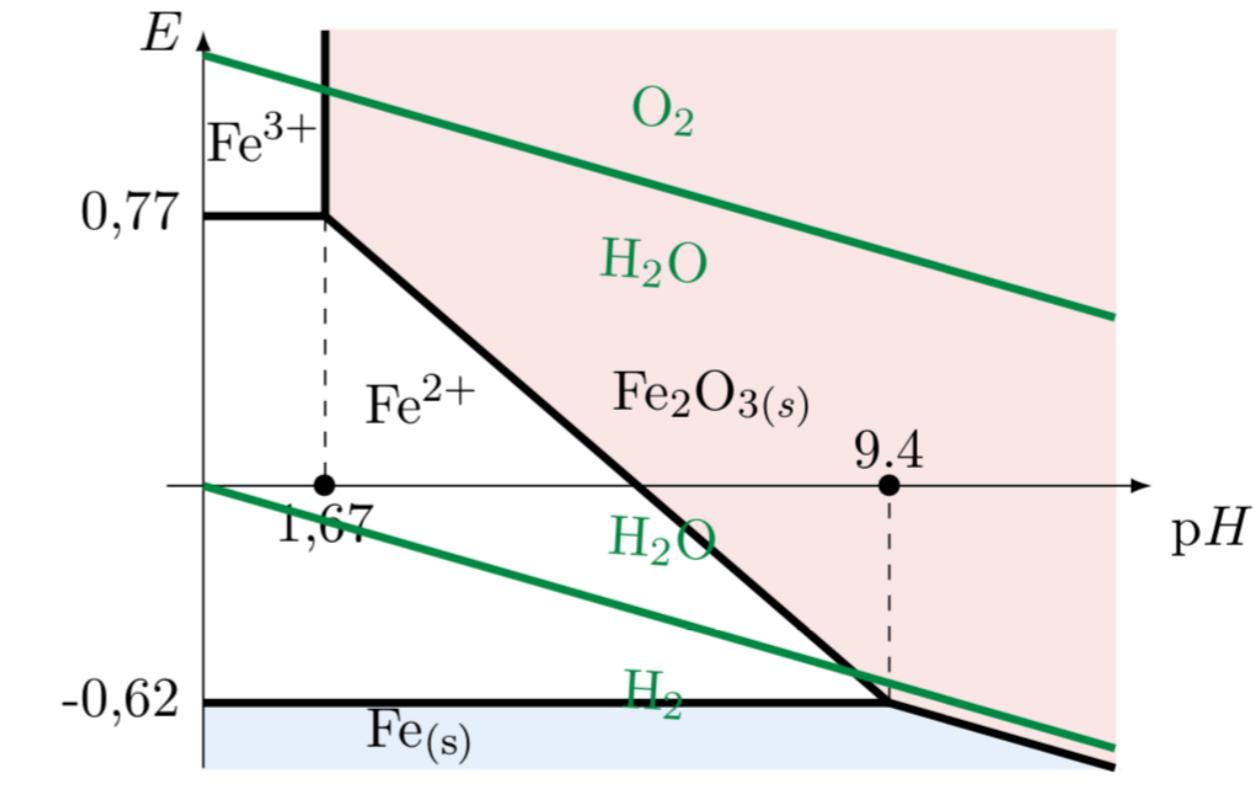
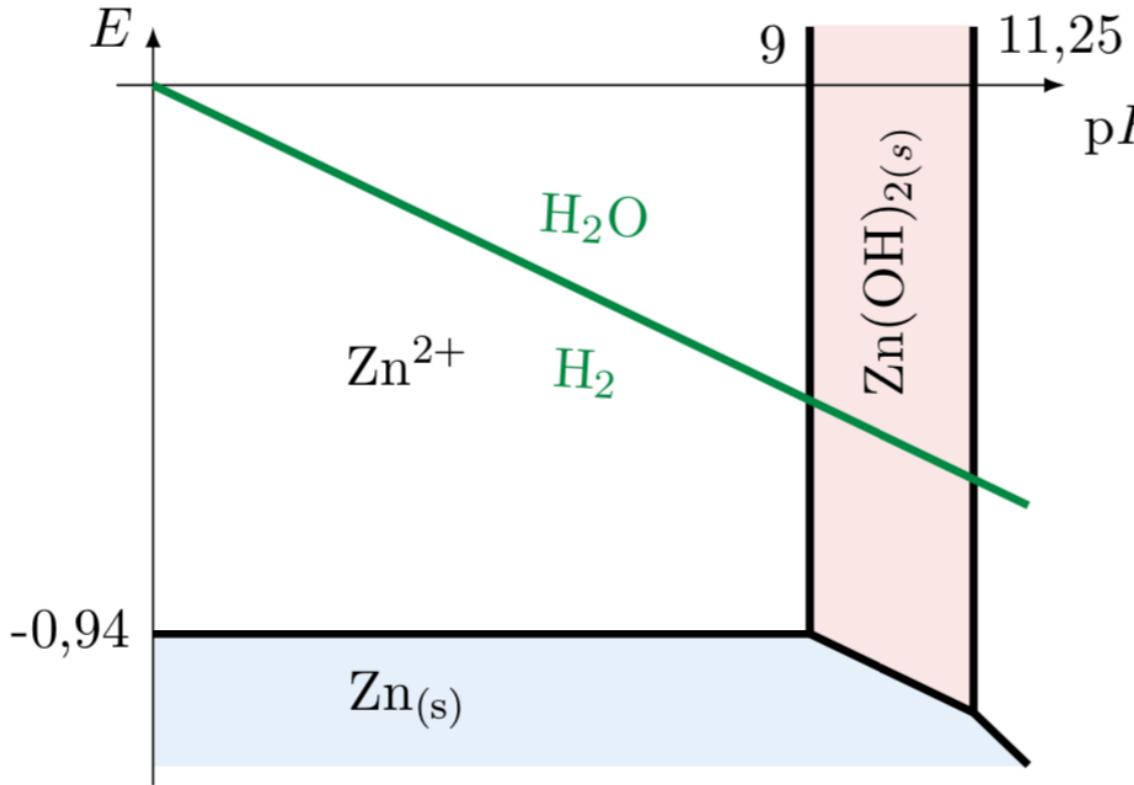
## Domaine de passivation

On appelle *domaine de passivation* la zone du diagramme  $E - \text{pH}$  où l'espèce métallique est sous forme solide de nombre d'oxydation non nul : oxyde métallique ou hydroxyde métallique.

$$h]_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na}} \text{na}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{na}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{na}^{\text{na}} \text{rot} E =$$

$$\underline{\underline{H}}(\mathbf{j}\omega) = d \frac{\sum_k b_k^{\text{na}}}{\sum_j K_j^{\text{na}}} \exp \frac{\mathbf{j}\omega}{\partial \lambda}$$

# CORROSION UNIFORME : IMMUNITÉ, PASSIVATION, CORROSION



Diagrammes E-pH simplifié — gauche : zinc ; droite : fer

$$\begin{aligned}
h_e^{\text{na}} &= \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na}} \text{Cu}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{rot } E \\
H(j\omega) &= d \frac{\sum_k b_k^{\text{na}}}{\sum_j K_j^{\text{na}}} \exp \frac{j\omega}{\tau}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\operatorname{div} \vec{j} &= 0 \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}} \\
\frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} &= \varphi_0^F (S M^{\text{vap}}) = \varphi_0^F (E^{\text{vap}} \mu_0^{\text{vap}}) = 0 \\
\Delta_{\text{vap}} &= \frac{130,7,1 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}{\sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\circ}} \\
\vec{j} &= \gamma \vec{E} \quad \Delta_{\text{vap}} = \frac{\partial \Delta_{\text{vap}}}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \gamma \omega \\
\Delta_{\text{vap}} &= \frac{\partial \Delta_{\text{vap}}}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \gamma \omega \\
- (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) \mathcal{E} V_{ri} &= 
\end{aligned}$$

# CORROSION UNIFORME : IMMUNITÉ, PASSIVATION, CORROSION

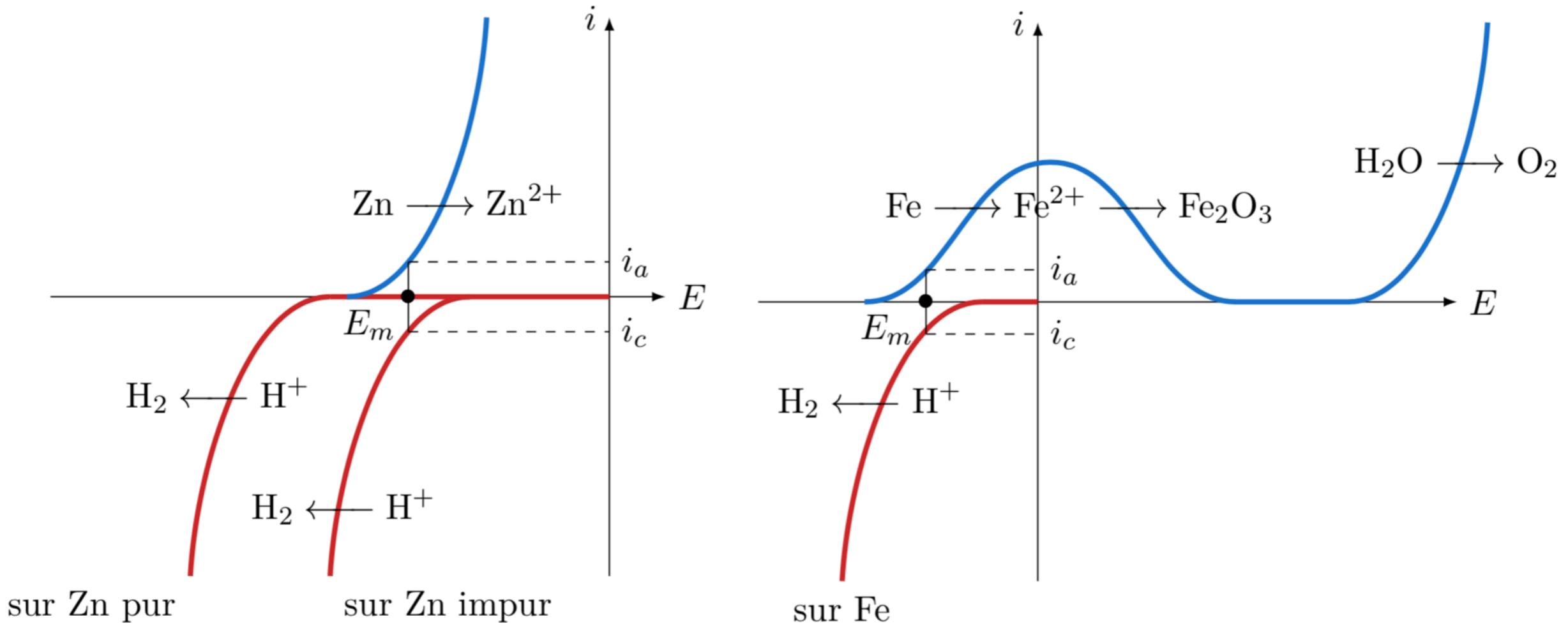


Diagramme i-E — gauche : zinc ; droite : fer

$$h_e^{\text{na}} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na} \rightarrow \text{p}} \text{Zn}^{\text{na} \rightarrow \text{p}} \text{C}^{\text{na} \rightarrow \text{p}}_{\mathfrak{B}^{(g)}} \pm \text{Zn}^{\text{na} \rightarrow \text{p}}_{\mathfrak{B}^{(g)}} \text{rot } E =$$

$$\int \text{div} \vec{j} = 0 \quad \oint \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}} S} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}}$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} \frac{\partial \vec{j}}{\partial \vec{E}} = \varphi_0^F (E_{\oplus}^{\circ} - \mu_{B_{\oplus}}^{\circ}) (B_{2(g)}) = 0$$

$$\frac{1}{\lambda_0} = \gamma \vec{E} \quad \Delta_{\text{r}} G = \frac{\partial \vec{G}}{\partial \vec{\xi}} \Big|_{P,T} \frac{G_{\text{r}}^{\text{a}} \gamma^{\text{a}}}{2 \mu_0} \vec{\mathcal{J}}_{\text{r}} H^{\circ} \mu_0 \bar{\varepsilon}_0 \frac{\vec{P}}{\partial \vec{\xi}}$$

$$- (|\eta_{\text{Ox}}(i)| + |\eta_{\text{Red}}(i)|) \mathcal{E} V_{ri} +$$

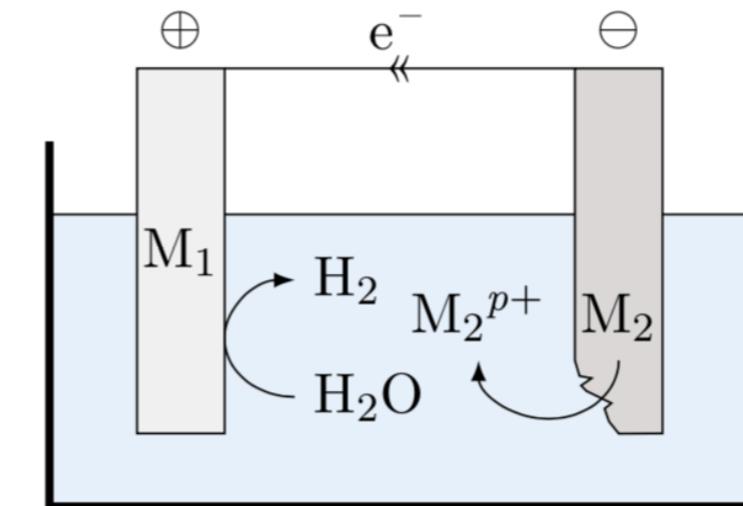
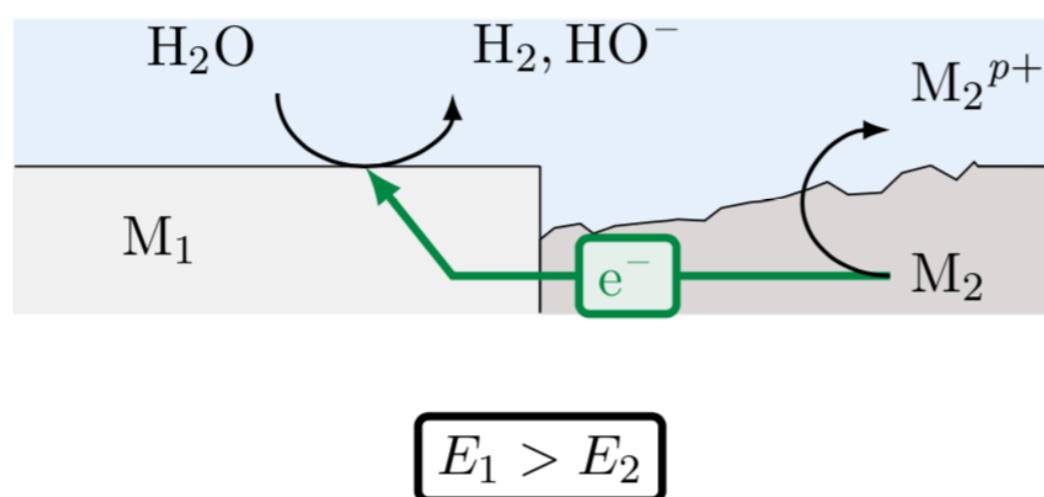
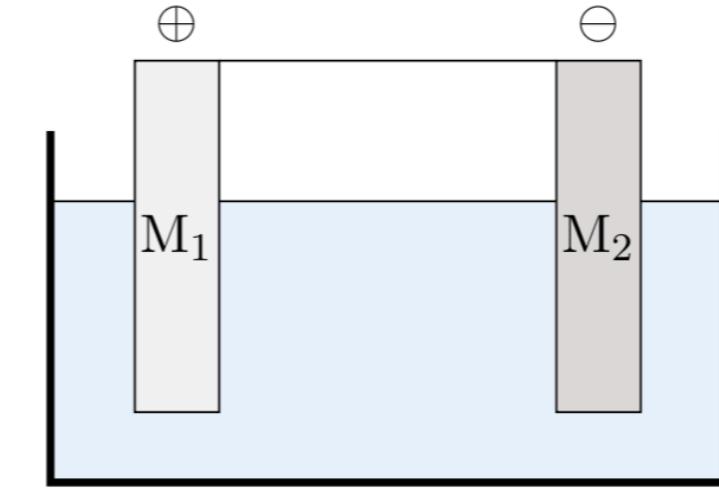
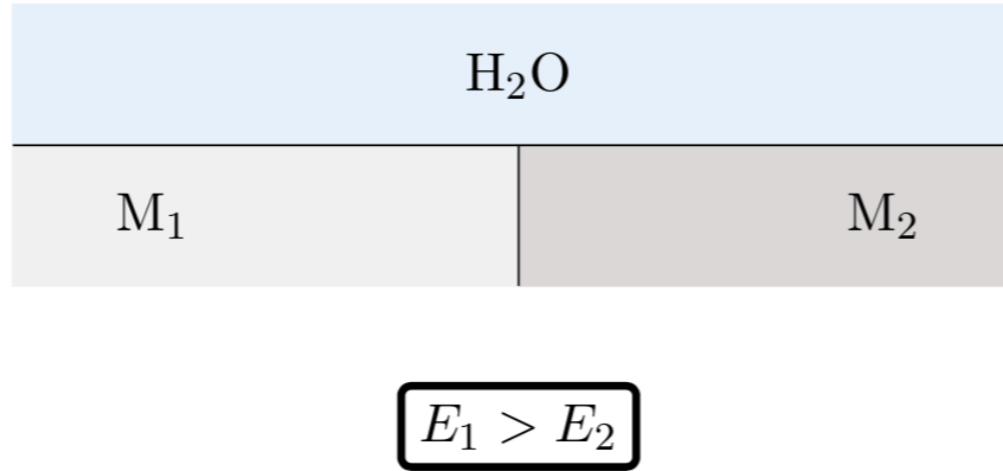
# CORROSION DIFFÉRENTIELLE

## Corrosion différentielle

On appelle *corrosion différentielle*, l’oxydation non uniforme d’un métal par un milieu réactionnel. La corrosion différentielle implique la circulation d’électrons au sein du métal.

$$\begin{aligned}
& \tilde{h}_e^a = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{aux}} \# \text{Zn}^{\text{aux}} \text{C}^{\text{aux}} \text{Zn}^{\text{aux}} \text{rot} E = \\
& \tilde{H}(\mathbf{j}\omega) = d \frac{\sum_k b_k^a}{\sum_j K_j^a} \tilde{E} = \exp \frac{a}{\partial \tilde{E}} \\
& \text{div} \vec{j} = 0 \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = \frac{d}{\Delta_{\text{vap}}^a} \frac{\mu_0}{T_{\text{vap}}} \\
& \frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_{\text{rel}}^a} \right) = 0 \quad \Delta_{\text{r}} H^{\circ} = \sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\circ} \\
& \vec{j} = \gamma \vec{E} \quad \Delta_{\text{r}} G = \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \frac{\partial G}{\partial \mu_0} \Big|_{P,T} \frac{\partial H}{\partial \mu_0} \Big|_{P,T} \frac{\partial P}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \frac{\partial \mu_0}{\partial \omega} \Big|_{P,T} \\
& - (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) \mathcal{E} V_{ri}
\end{aligned}$$

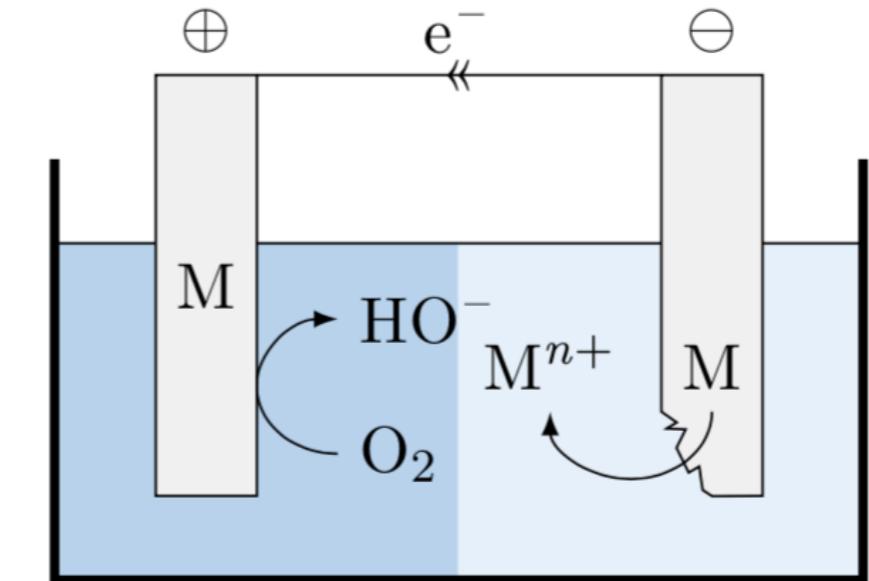
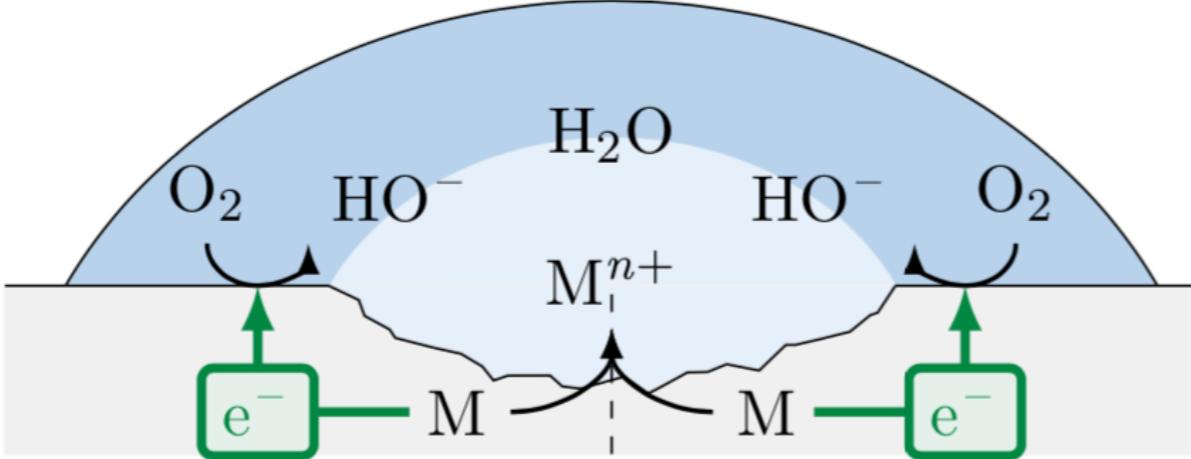
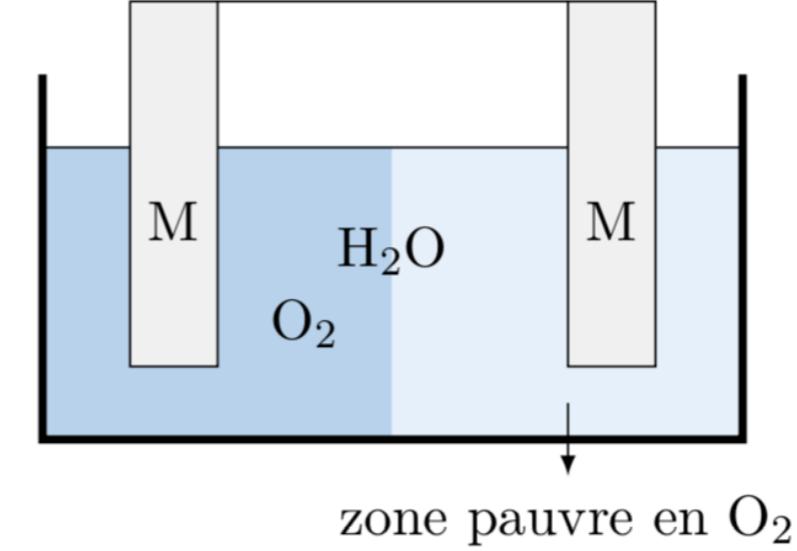
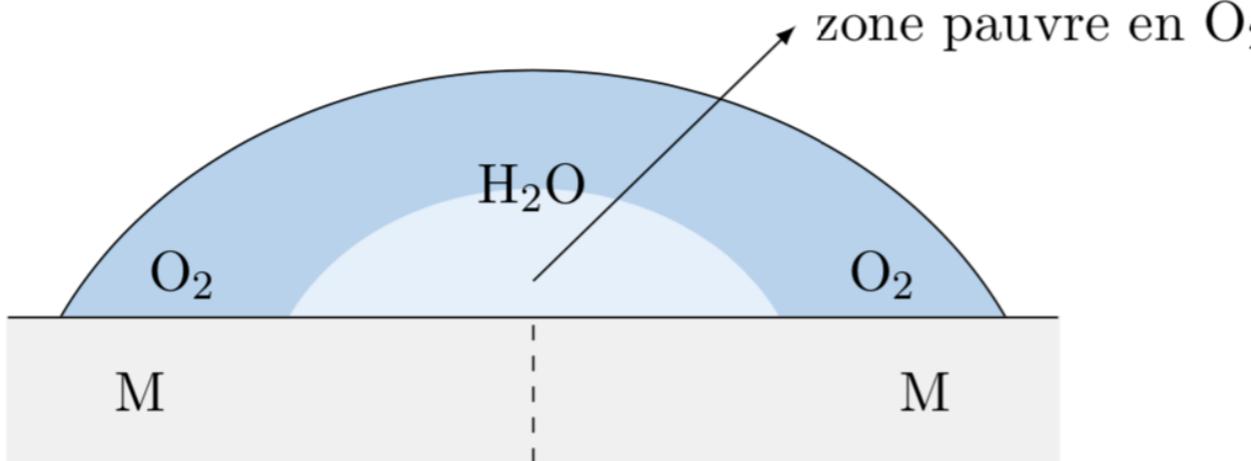
# CORROSION DIFFÉRENTIELLE : ÉLECTRODES DIFFÉRENTES



$$\begin{aligned}
h_e^{\text{na}} &= \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{na}} \text{Cu}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{Zn}^{\text{na}} \text{rot } E = \\
H(j\omega) &= d \sum_k \frac{b_k^{\text{na}}}{\sum_j K_j^{\text{na}}} \exp \frac{if}{\omega}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{div } \vec{j} &= 0 \quad \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{int}}}{\varepsilon_0} H_{\text{ALI}} = d \frac{\mu_0}{\Delta_{\text{vap}} S} \\
\frac{2\pi}{\lambda_0} \vec{j} \cdot \vec{E} + \text{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_{\text{vap}}^{\text{na}} (H_{\text{vap}}^{\text{na}})} \right) &= 0 \quad 130,7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \Delta_{\text{f}} H_{\text{vap}}^{\text{na}} = \sum_i \nu_i \Delta_{\text{f}} H_i^{\text{na}} \\
\vec{j} &= \gamma \vec{E} \quad \Delta_{\text{f}} G = \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \Delta_{\text{f}} H_i^{\text{na}} \\
\Delta_{\text{f}} G &= \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \frac{\partial G}{\partial \xi} \Big|_{P,T} \Delta_{\text{f}} H_i^{\text{na}} \\
- (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) \mathcal{E} V_{\text{ri}} &= \frac{1}{2} v^2 + g z + \dots
\end{aligned}$$

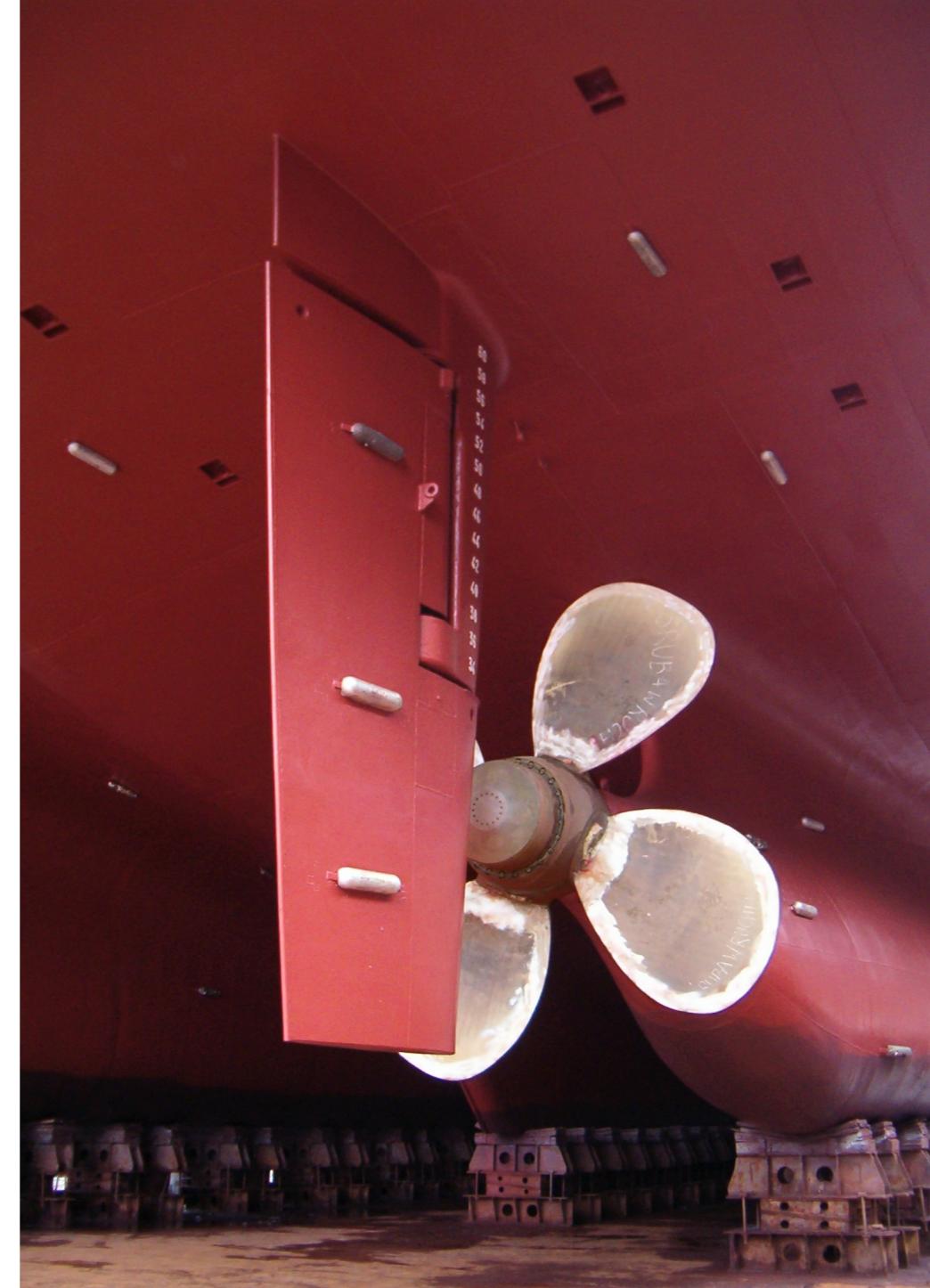
# CORROSION DIFFÉRENTIELLE : AÉRATION DIFFÉRENTIELLE



$$h|_e^{\infty} = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{\text{th}} \text{Cu}^{\text{N}^{+4}\text{H}^{+}} \text{Zn}^{\text{H}^{+}\text{H}^{+}} \text{Cl}^{-} \text{O}^{2-} \text{S}^{2-} \text{Zn}^{2+} \text{rot } E = \\ \mathcal{H}(\text{j}\omega) = d_{\sum_j \frac{b_j}{\sum_k E_k}} \exp \left( \frac{i}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial t} \right)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{J} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \pi_{\mathcal{G}}^{\mathcal{H}} \vec{J} \cdot \vec{E} + \operatorname{div} \left( \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0^{\text{air}}(H_{\text{ext}})} \right) &= 0 \\ \frac{\lambda_0}{j = \gamma \vec{E}} \quad \Delta_{\text{r}} G &= \frac{\overline{\partial} \overline{\mathcal{G}} \overline{\mathcal{G}}^* G^* \partial}{\partial \xi} \overline{\mu_0} \overline{\mathcal{H}}^* \overline{\mu_0} \overline{\varepsilon} \overline{\partial} \\ - (|\eta_{\text{ox}}(i)| + |\eta_{\text{red}}(i)|) E_{\text{r},i} & \left[ \frac{1}{2} v^2 + g z + \right. \end{aligned}$$

# CORROSION MÉTHODES DE PROTECTION



## Anodes sacrificielles et coating anti-corrosion