

Préparation au DS n° 6

Corrosion

Chauffe-eau (CCINP TSI 2021)

Un chauffe-eau est composé d'une cuve cylindrique fermée, généralement en acier émaillé, dans laquelle se trouve un dispositif de chauffage piloté par un thermostat (figure I-1). La cuve est en permanence remplie d'eau. En effet, lorsqu'on puise de l'eau chaude, de l'eau froide remplace au fur et à mesure la quantité d'eau chaude utilisée. Le dispositif de chauffage réchauffe l'eau jusqu'à une température de consigne préalablement définie, puis s'arrête. Si de l'eau est puisée, il se remet en fonctionnement. On se propose d'étudier la protection de la cuve contre la corrosion.

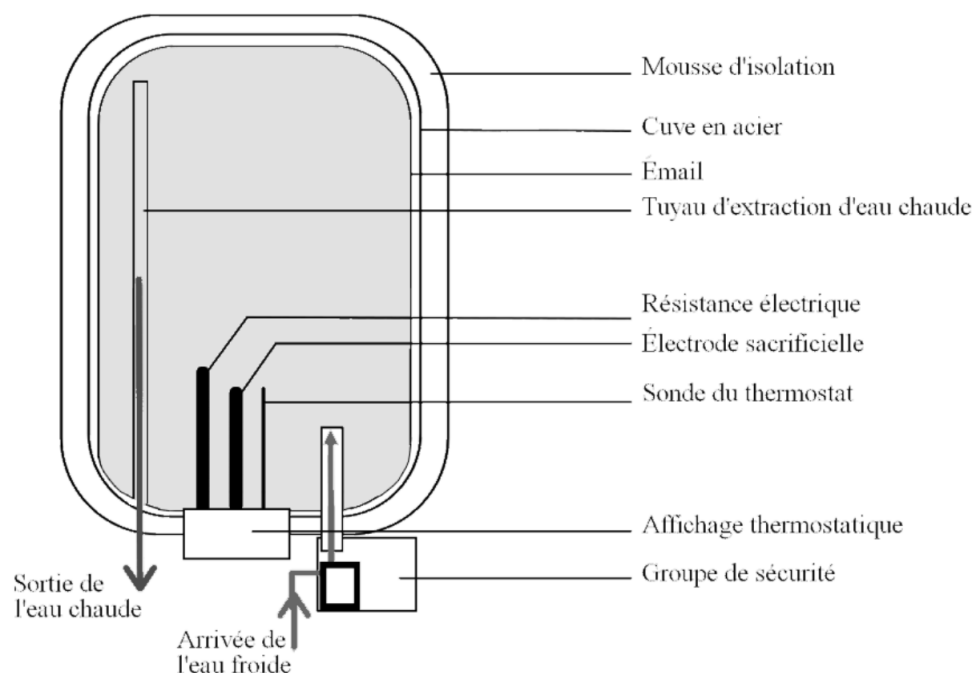
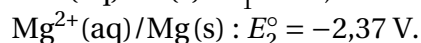
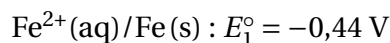


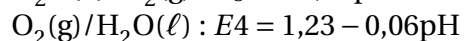
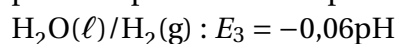
FIGURE I-1 – Schéma description d'un chauffe-eau électrique

Données

Potentiels standard à 298 K à $H = 0$:



Équations de frontière des couples de l'eau à 298 K pour lesquelles les conventions sont telles que la pression partielle des espèces gazeuses est égale à 1 bar :



Électrode sacrificielle de magnésium

La cuve d'un chauffe-eau est en acier, qui est un alliage essentiellement constitué de fer. Au contact de l'eau, la cuve peut subir un phénomène de corrosion. Pour $7 < \text{pH} < 9$, le fer solide $\text{Fe}(\text{s})$ réagit avec l'eau et conduit à la formation d'ions fer(II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, qui à leur tour réagissent avec le dioxygène $\text{O}_2(\text{g})$ pour former de la rouille $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$.

Q 1. Établir l'équation de la réaction menant des ions fer(II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ à la formation de rouille $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$.

La première protection de la cuve contre la rouille est son émailage, mais l'émail possède naturellement des micro-porosités où la corrosion peut s'amorcer. C'est pourquoi on trouve dans tout chauffe-eau un système de protection supplémentaire contre la corrosion. Une possibilité réside en la présence d'une électrode de magnésium dite « sacrificielle ».

On s'intéresse à la stabilité du magnésium solide Mg(s) dans l'eau et dans le dioxygène. On considère les espèces Mg(s) , $\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{Mg(OH)}_2(\text{s})$ dans le diagramme E -pH du magnésium de la figure I-2 à la concentration de tracé de $C_t = 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à 298 K.

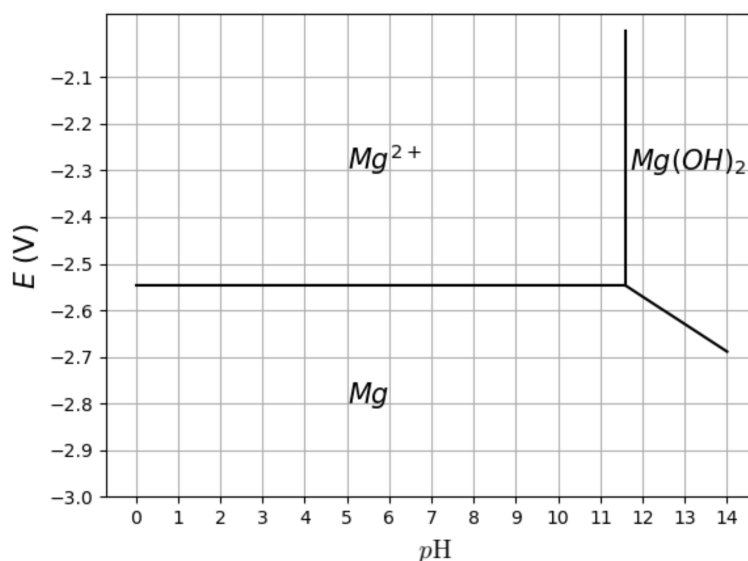


FIGURE I-2 – Diagramme E -pH du magnésium

Q 2. Justifier la position relative de chacune des espèces sur le diagramme E -pH de la figure I-2.

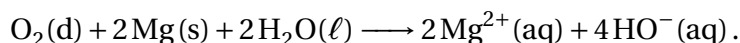
Q 3. Déterminer, par le calcul, l'équation de la frontière séparant $\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$ et Mg(s) . Est-ce en accord avec le diagramme ?

Q 4. Déterminer, par le calcul, la pente de la frontière séparant $\text{Mg(OH)}_2(\text{s})$ et Mg(s) .

Q 5. On suppose qu'une variation de température modifie peu les frontières. Conclure sur la stabilité du magnésium dans l'eau et dans le dioxygène.

La cuve d'un chauffe-eau en acier est ainsi reliée à une électrode sacrificielle de magnésium qui plonge dans l'eau de la cuve. Le métal le plus réducteur sert alors d'anode et le moins réducteur de cathode. La surface de la cathode se charge en électrons. À l'interface cathode/eau, le dioxygène dissous dans l'eau de la cuve $\text{O}_2(\text{d})$ se réduit mais le métal reste intact.

L'équation de la réaction totale qui se produit au sein de la cuve, écrite en milieu basique, est



Ce phénomène est analogue à une pile en court-circuit, dont un schéma est fourni sur la figure I-3.

Q 6. Rappeler la définition d'une anode.

Q 7. Quel rôle joue l'électrode de magnésium (anode ou cathode) ? Justifier.

Q 8. En déduire la demi-équation d'oxydo-réduction qui se déroule au niveau de l'anode et celle qui se déroule au niveau de la cathode.

Q 9. Associer, à chaque numéro de 1 à 7 de la figure I-3, le terme manquant sur les lignes en pointillés, en choisissant parmi les termes suivants : *anode*, *cathode*, *sens des électrons*, *sens du courant électrique*, Mg^{2+} , $\text{O}_2(\text{d})$ et HO^- .

Q 10. Justifier le nom d'électrode sacrificielle donné à l'électrode de magnésium.

Au bout d'un certain temps l'électrode a totalement disparu et le chauffe-eau ne dispose plus de système de protection : la corrosion peut survenir. Elle doit donc être changée régulièrement. La fréquence de remplacement varie selon le type d'eau et peut varier de quelques mois à plusieurs années. Il est donc difficile de connaître précisément le besoin de remplacement mais il est cependant possible de l'estimer.

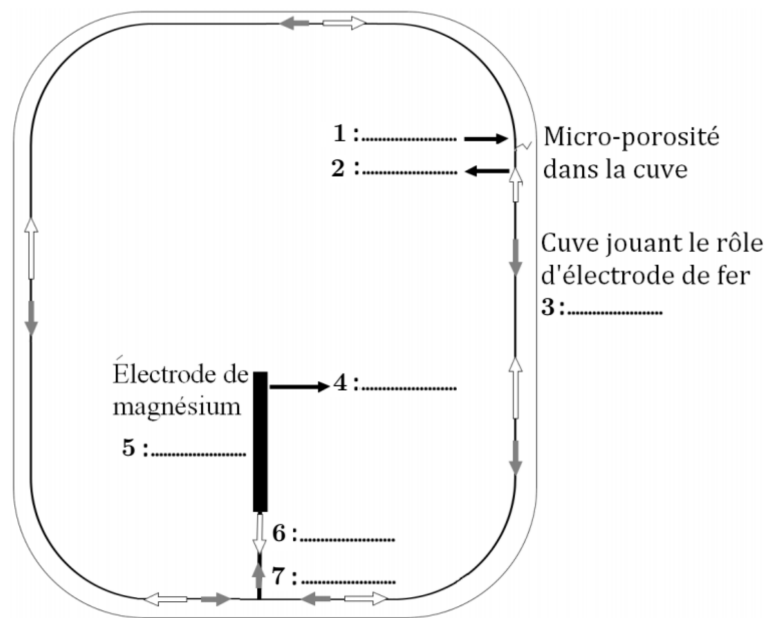


FIGURE I-3 – Cuve en acier avec une électrode de magnésium

Q 11. Au contact du magnésium, la cuve est parcourue par une densité de courant de l'ordre de $j_e = 50 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$. Estimer la durée de vie en jours de l'électrode de magnésium.

Données relatives à la cuve

Surface intérieure de la cuve du chauffe-eau : $S_c = 3,0 \text{ m}^2$

 lectrode de magnésium : $V = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

Masse molaire du magnésium : $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse volumique du magnésium $\rho(\text{Mg}) = 1,74 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Faraday : $1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$