

PSI2. devoir en classe n°6. 4h . Samedi 15 mars 2025.
Calculatrices autorisées. Téléphones portables interdits.
Rangement final dans l'ordre de l'énoncé.
Numérotez vos feuilles de 1/n à n/n.
Les problèmes font partie du problème.

Problème 1.Extrait centrale psi.

Un train à sustentation magnétique utilise les forces magnétiques pour léviter au dessus de la voie ; il n'est donc pas en contact avec des rails, contrairement aux trains classiques. Ce procédé permet de supprimer la résistance au roulement et d'atteindre des vitesses élevées.

Il existe actuellement deux types de trains à grande vitesse à sustentation magnétique :

— un train à sustentation électromagnétique dans lequel le train lévite par attraction grâce à des aimants (Transrapid développé en Allemagne) ;

— un train à sustentation électrodynamique dans lequel le train lévite par répulsion grâce aux courants de Foucault induits par le déplacement du train (SCMaglev développé au Japon).

La seule réalisation commerciale du Transrapid est à l'heure actuelle la ligne de 30 kilomètres qui fonctionne depuis 2004 entre Shanghai et son aéroport international de Pudong. Le trajet s'effectue en moins de 8 minutes, à la vitesse moyenne de 245 km/h. Sur ce parcours le train atteint la vitesse de 430 km/h, il a la capacité d'accélérer de 0 à 350 km/h en 2 minutes.

La première version commerciale du SCMaglev doit relier en une heure Tokyo et Osaka, distantes de 400 km à vol d'oiseau. L'ouverture du premier tronçon de la ligne (Tokyo-Nagoya) est prévu en 2027 avec une vitesse de pointe sur le parcours de 505 km/h. En 2015 une rame de test de sept voitures a atteint la vitesse de 603 km/h, établissant ainsi l'actuel record de vitesse pour un train.

Énergétique du Transrapid

Q 1. *En vous appuyant sur les documents fournis évaluer les puissances consommées par le Transrapid et par un train conventionnel sur rail lorsqu'ils circulent à 300 km.h⁻¹. Discuter de la pertinence du dispositif Transrapid.*

Le constructeur indique que la distance de freinage du Transrapid est de 3,6 km à 300 km.h⁻¹.

Q 2. *En déduire la puissance de freinage, supposée constante au cours du freinage, en négligeant la traînée aérodynamique du train devant la force de freinage.*

On pourra établir la loi de variation de la vitesse du train en fonction de la distance x parcourue à partir du début du freinage.

Q 3. *Toujours dans la même approximation, calculer la valeur moyenne de la puissance de la traînée aérodynamique du train pendant la durée du freinage et la comparer à la puissance de freinage déterminée à la question précédente.*

Q 4. *Commenter la qualité de l'approximation utilisée.*

Intensité du champ de pesanteur terrestre $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Masse volumique de l'air : $1,2 \text{ SI}$

Force de traînée à savoir interpréter : $T_x = \frac{1}{2} C_x \mu S v^2$

Données comparatives Transrapid - TGV

	Transrapid	TGV duplex
Masse (tonnes)	190	390
Nombre de places	310	510
Longueur (m)	79,7	200
Puissance d'une motrice (kW)		8800
Composition du train	3 voitures motrices	motrice - 8 voitures - motrice
Type de moteur	Moteur synchrone linéaire	Moteur rotatif asynchrone embarqué dans la motrice
Alimentation	Sous-stations réparties sur la voie	Caténaire
Section aérodynamique S (m^2)	11	12
C_x	0,24	0,35

D'après "Techniques de l'ingénieur - Ingénierie des transports/ Systèmes ferroviaires "

Le Transrapid fonctionne avec des moteurs linéaires synchrones dont les bobinages « inducteurs » sont disposés le long de la voie. Les bogies d'articulation des rames comportent l'ensemble des « induits de motorisation. Les constructeurs ont également combiné, sous les voies, les électroaimants de support vertical et le guidage.

La résistance à l'avancement du train due au contact sur les rails horizontaux et alignés est définie par une action tangentielle, opposée au mouvement, dont la norme $\|\vec{T}\|$ peut s'écrire sous la forme $\|\vec{T}\| = \mu(V) \|\vec{N}\|$ où V est la vitesse du train, \vec{N} la composante de la réaction normale du rail sur le train et $\mu(V)$ le coefficient d'adhérence dont la forme est donnée figure 7.

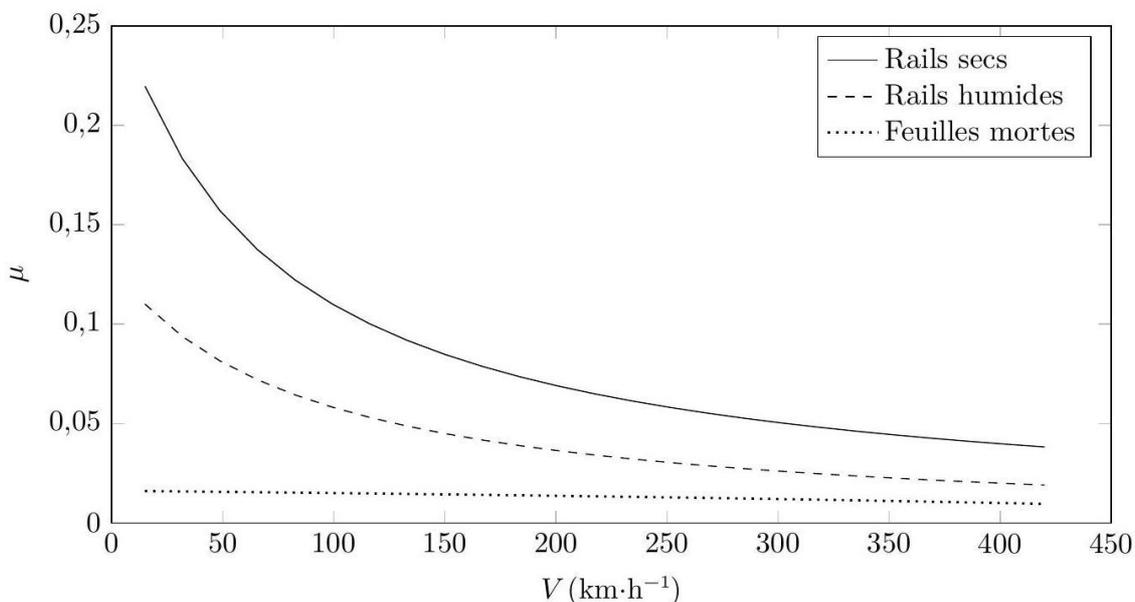


Figure 7 Adhérence maximale sollicitable pour un train à grande vitesse en fonction de la vitesse et de l'état du rail

Problème 2. Turbine à gaz. Extrait ccp psi.

Le biogaz vient de la fermentation anaérobie, c'est-à-dire sans oxygène, des déchets de l'agriculture, de l'industrie alimentaire et des ordures ménagères. À l'état brut, sa teneur en méthane est un peu supérieure à 50%. Après une épuration poussée, il atteint le même niveau de qualité que le gaz naturel et porte alors le nom de bio-méthane (CH_4). Il peut être valorisé par la production d'énergie électrique. Il est considéré comme une énergie renouvelable à part entière depuis plus de dix ans et sa combustion libère moins de CO_2 que celle du fuel ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$).

28 Justifier, à l'aide des données thermodynamiques fournies en fin d'énoncé, que pour une même production d'énergie, la combustion de méthane libère moins de CO_2 que celle du fuel.

Étude d'une installation motrice avec turbine à gaz

On étudie ici une installation motrice dont le principe de fonctionnement est décrit sur la Fig. 7.

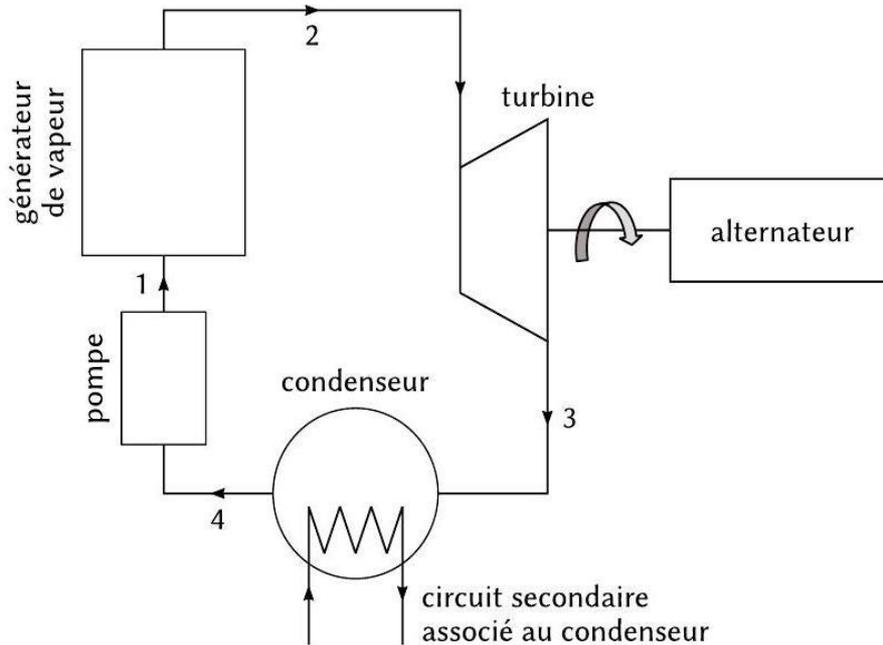


Figure 7. Installation motrice.

Elle fonctionne en régime permanent suivant le cycle de Hirn. Le fluide utilisé est de l'eau. La pompe alimente le générateur de vapeur en liquide haute pression (point 1), on a $P_1 = 10$ bar. Le liquide est porté à ébullition, puis totalement vaporisé, et enfin surchauffé de façon isobare par le brûleur au bio-méthane (point 2). La vapeur surchauffée se détend ensuite dans la turbine accouplée à un alternateur électrique (point 3). Au point 3, on a $P_3 = 1$ bar, la vapeur est sous forme de vapeur condensée, puis le liquide (point 4) est réintroduit dans la pompe. Un circuit secondaire, associé au condenseur et relié à une tour de refroidissement ou autre, permet d'extraire l'énergie issue du condenseur par transfert thermique.

Hypothèses :

- l'évolution dans la turbine est adiabatique et réversible;
- l'évolution dans la pompe est supposée isenthalpique;
- dans les bilans énergétiques, les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide seront négligées par rapport aux termes enthalpiques;
- on néglige les pertes mécaniques de la turbine et le rendement de l'alternateur est considéré égal à 100%;
- l'état du fluide reste inchangé dans les canalisations de liaison entre les différents éléments.

29 Reproduire sommairement sur votre copie l'allure du diagramme $\log(P) - h$ de l'eau fourni en fin de sujet, en veillant à retranscrire au mieux la courbe de saturation et y superposer l'allure du cycle étudié. Reproduire et compléter la Table 1 sur votre copie.

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
T(°C)	≈ 100			100
P(bar)	10	10	1	1
h(kJ · kg ⁻¹)				
État	Liquide	Vapeur sèche	Vapeur saturante (x _v = 1)	Liquide saturé (x _v = 0)

Table 1. Grandeurs thermodynamiques de l'eau dans le cycle de la Fig. 7.

30 Exprimer en fonction des enthalpies massiques aux points 1,2, 3 et 4 :

- le travail massique de la turbine (w_i). Ce travail est parfois dénommé travail indiqué massique;
- le transfert thermique massique (q_{GV}) fourni par le générateur de vapeur;
- le transfert thermique massique (q_{cond}) récupéré par le circuit secondaire associé au condenseur.

Évaluer numériquement w_{iT}, q_{GV} et q_{cond}. Exprimer le rendement de l'installation en fonction des différentes entalpies massiques.

31 Évaluer le débit massique en eau du circuit primaire, noté D_{m1}, pour une production d'électricité d'une puissance P_{élec} ≈ 250 kW.

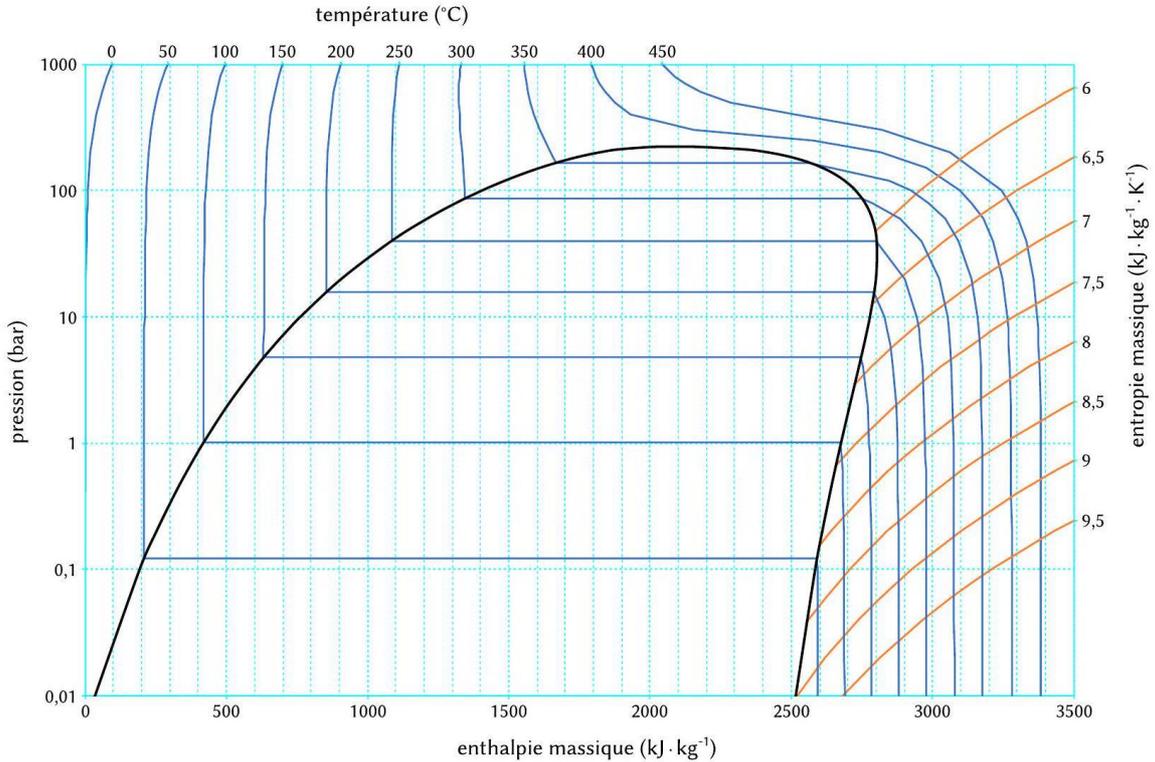


Diagramme log (P) – h de l'eau.

Pouvoir calorifique (énergie thermique libérée lors de la combustion d'une mole de carburant) :

- méthane : 803 kJ · mol⁻¹;
- fuel : 7600 kJ · mol⁻¹.

Problème 3. Extrait centrale psi.**I Pertes de charge dans les conduites**

Nous considérerons dans toute cette partie des conduites rectilignes à section circulaire constante.

IA - Fluide en écoulement homogène incompressible laminaire**IA.1) Que devient la relation de Bernoulli d'un fluide visqueux en régime laminaire stationnaire ?**

a) Rappeler les définitions d'un écoulement parfait de fluide, d'un écoulement homogène incompressible, d'un écoulement stationnaire.

b) Dans le cas d'un *fluide parfait* en écoulement homogène incompressible stationnaire, retrouver la relation de Bernoulli à partir du premier principe de la thermodynamique exprimé relativement à un système ouvert en régime permanent rappelé ci-dessous. Préciser alors la grandeur volumique énergétique e_T uniforme sur une ligne de courant.

On lui associera une hauteur H appelée hauteur manométrique ou charge totale :

$$H = z + \frac{p}{\mu g} + \frac{v^2}{2g}$$

où z est l'altitude, p la pression, et v la vitesse du fluide au point considéré, μ sa masse volumique et g l'accélération de la pesanteur ($g=9,81$ SI). Préciser la relation entre e_T et H .

NDLR : ce n'est pas très clair. On peut interpréter qu'il faut partir du premier principe industriel (avec des notations A DEFINIR) :

$$\Delta \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = w_{ind} + q$$

On pourra aussi construire la relation : $dh = T ds + \frac{dp}{\mu}$

c) Dans quelles zones de l'écoulement laminaire d'un fluide réel, l'hypothèse d'un écoulement parfait est-elle inenvisageable ?

d) Si on tient compte de la viscosité du fluide incompressible avec une force volumique \vec{f}_{visc} et en postulant toujours un régime stationnaire, la grandeur volumique énergétique e_T définie précédemment diminue de A à B le long d'une ligne de courant. Montrer :

$$e_T(B) - e_T(A) = \int_A^B \vec{f}_{visc} \cdot d\vec{\ell} \quad \text{soit aussi} \quad de_T = \vec{f}_{visc} \cdot d\vec{\ell}$$

e) Dans un fluide incompressible visqueux, la densité volumique de force de viscosité s'écrit $\vec{f}_{visc} = \eta \Delta \vec{v}$ où η est la viscosité dynamique du fluide et $\Delta \vec{v}$ le laplacien vectoriel de la vitesse locale. Montrer que la variation élémentaire de H s'écrit : $dH = \frac{\eta}{\mu g} \Delta \vec{v} \cdot d\vec{\ell}$

Exprimer alors la quantité $\Delta H = H(A) - H(B)$ (positive ou nulle) qu'on appelle perte de charge.

IA.2) Écoulement de Poiseuille

On étudie le cas particulier de l'écoulement laminaire d'un fluide visqueux incompressible dans une conduite rectiligne, de direction \vec{e}_x horizontale, de section circulaire S constante (de rayon r_0).

Compte tenu des symétries du problème, le champ des vitesses s'exprime sous la forme $\vec{v}(M) = v(r, x) \vec{e}_x$ où $r = \sqrt{y^2 + z^2}$ est la distance du point M à l'axe de révolution de la conduite.

a) Montrer que la vitesse $v(r, x)$ ne peut dépendre de x .

b) En supposant la perte de charge linéique uniforme tout au long de la conduite et en notant $\frac{\partial H}{\partial x} = -a$ (avec $a > 0$), montrer que :

$$v(r) = v_{max} \left(1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right) \quad \text{avec} \quad v_{max} = \frac{\mu g a}{4\eta} r_0^2$$

Dans la symétrie du problème, on a : $\Delta \vec{v} = \Delta v_x \vec{e}_x = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \vec{e}_x$

c) La vitesse débitante U sur une section droite est la vitesse qui, uniforme sur la section S , correspond au même débit volumique Q .

Exprimer cette vitesse en fonction de v_{\max} et en déduire $v(r)$ en fonction du débit volumique Q de fluide dans la conduite.

d) On souhaite un débit d'environ $30 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ dans une conduite de diamètre $D = 20 \text{ cm}$. Dans une conduite cylindrique, la transition laminaire turbulente se situe aux alentours de nombres de Reynolds de 2300 (dans l'expression du nombre de Reynolds, on choisira respectivement U et D comme ordres de grandeur de la vitesse du fluide et de la dimension transversale de l'écoulement).

– Cas d'une huile (SAE-90) pour laquelle $\eta = 0,17 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\mu = 880 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

- Calculer la perte de charge linéique et donc la surpression nécessaire pour le transport de cette huile sur un tronçon de 50 m.

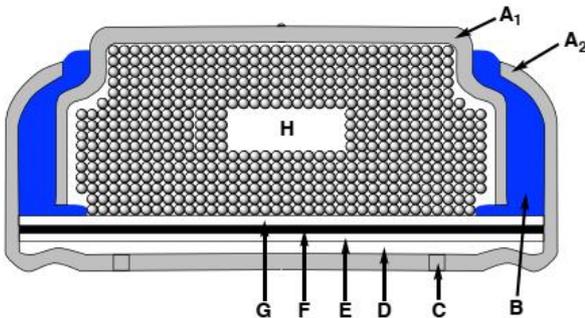
- Calculer le nombre de Reynolds de l'écoulement. Conclure.

– Cas de l'eau : $\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\mu = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

- Calculer le nombre de Reynolds de l'écoulement. Conclure.

Problème 4. Piles zinc-air. Extrait mines ponts psi.

Les piles zinc-air sont des accumulateurs tirant leur énergie de l'oxydation du zinc avec le dioxygène de l'air ambiant (Figure 1). Ces piles possèdent de hautes densités énergétiques et sont peu chères. Leur format varie des piles boutons pour les audioprothèses à des formats intermédiaires, pouvant être utilisés dans des appareils tels les caméras, jusqu'aux grands formats utilisables dans les véhicules électriques.

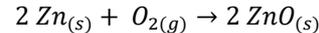


A_1 et A_2 : revêtements métalliques, B : joint isolant, C : orifice d'entrée d'air, D : membrane semi-perméable, E : dioxygène (air), F : membrane hydrophobe, G : séparateur, H : poudre de zinc et électrolyte (solution gélifiée de potasse).

Caractéristiques :

Force électromotrice : $e \approx 1,6 \text{ V}$.

Réaction de fonctionnement :



Masse de zinc dans la pile : 0,65 g.

Masse de la pile : 1,0 g.

Intensité de fonctionnement : 0,80 mA.

Tension de fonctionnement : 1,5 V.

Figure 1. Schéma et caractéristiques d'une pile bouton zinc-air.

Q10- Identifier l'anode et la cathode de cette pile et déterminer la polarité de la pile. Justifier.

Q11- Calculer la force électromotrice standard e° de cette pile à partir des valeurs des potentiels standards E° des couples redox.

Q12- Calculer l'enthalpie libre standard $\Delta_r G^\circ$ de la réaction de fonctionnement de la pile à 298 K en utilisant les grandeurs thermodynamiques fournies (Annexe 3). En déduire la valeur de la constante K° de cette même réaction. Conclure.

Q13- Calculer la valeur de la force électromotrice standard à l'aide de la valeur de $\Delta_r G^\circ$.

Q14- Calculer la durée théorique pendant laquelle cette pile peut fonctionner sans être déchargée.

Q15- Calculer l'énergie que peut fournir cette pile.

Annexes

Annexe 1. Constantes usuelles et approximations de calcul.

Constante de Faraday : $\mathcal{F} \approx 10^5 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_a \approx 6.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits : $R \approx 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Approximations : $\sqrt{3} \approx 1,8$ et $\sqrt{2} \approx 1,4$.

Annexe 2. Données numériques.

Volume molaire d'un gaz parfait à $T = 25^\circ\text{C}$ et $P = 1 \text{ bar}$: $V_m = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Numéro atomique : $Z(\text{B}) = 5$; $Z(\text{Fe}) = 26$ et $Z(\text{Ti}) = 22$.

Rayons métalliques : $R(\text{Fe}) = 125 \text{ pm}$ et $R(\text{Ti}) = 145 \text{ pm}$.

Rayon atomique de l'hydrogène : $R(\text{H}) = 35 \text{ pm}$.

Masses molaires : $M(\text{Zn}) = 65 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{glucose}) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Annexe 3. Données thermodynamiques à 298 K (valeurs arrondies).

	$\text{Zn}_{(s)}$	$\text{O}_{2(g)}$	$\text{ZnO}_{(s)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
$\Delta_f H^\circ (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	0	0	-350	-300
$S^\circ (\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$	40	200	40	70

Potentiels redox standards à $\text{pH} = 0$: $E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$; $E^\circ(\text{ZnO}/\text{Zn}) = -0,43 \text{ V}$; $E^\circ(\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,08 \text{ V}$.

Problème 5. Les bouées houlographes Waverider. Extrait centrale mp.

Depuis la fin des années 1960, la société néerlandaise Datawell développe des bouées houlographes commercialisées sous le nom de Waverider. Flottant à la surface de la mer, une telle bouée se déplace au gré des vagues de sorte qu'en enregistrant son mouvement, on accède aux caractéristiques de la houle. Le fonctionnement du Waverider repose sur une ingénieuse combinaison de principes physiques que ce problème aborde au travers de modèles simples.



Figure 1 Photographies d'une bouée houlographe Waverider

Prévention de la corrosion

La coque des bouées Waverider est faite d'acier AISI 316, un alliage de fer, de carbone (moins de 1%) et de chrome. L'oxydation du chrome permet la formation d'une couche superficielle de passivation et rend en principe l'acier « inoxydable », donc apte à demeurer longtemps en milieu marin. Cependant, la présence d'ions chlorures entraîne une dégradation locale de la couche de passivation, déclenchant irrémédiablement la corrosion du fer. Dans cette partie, on étudie la corrosion de l'acier en milieu marin et le moyen choisi par Datawell pour s'en prémunir.

A - Thermodynamique de la corrosion du fer

La figure A du document réponse est un diagramme potentiel-pH du fer tracé pour la concentration en espèces dissoutes $C_{\text{tra}} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les espèces prises en compte sont $\text{Fe}_{(s)}$, $\text{FeOOH}_{(s)}$, $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$, $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$, $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}$ et $\text{HFeO}_2^{-}(\text{aq})$. Les frontières associées aux couples d'oxydoréduction de l'eau ont été superposées en pointillés gris.

Q 1. Compléter ce diagramme potentiel-pH en attribuant à chaque domaine une espèce contenant Fe. Justification nécessaire.

Q 2. À partir du diagramme, déterminer le potentiel standard du couple $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}/\text{Fe}_{(s)}$ et le $\text{p}K_s$ de $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$.

Q 3. Sans utiliser le diagramme, déterminer la pente de la frontière séparant Fe^{2+} et $\text{FeOOH}_{(s)}$.

Q 4. À partir du diagramme, écrire la réaction se produisant quand une pièce de fer est laissée à l'abandon dans une solution aqueuse saturée en dioxygène et dont le pH vaut 7.

B - Cinétique de la corrosion de l'acier

Dans une étude publiée en 2016 dans la revue Ocean Engineering, Kim et al. analysent la corrosion de l'acier dans une solution aqueuse de chlorure de sodium modélisant l'eau de mer, saturée en dioxygène et de pH égal à 8,2. Afin de relever la courbe courant-potential d'une pièce d'acier, ils utilisent une contre électrode en platine et une électrode de référence au calomel saturé, de potentiel $E_{ref} = 0,25 \text{ V}$.

Q 5. Donner précisément le schéma du dispositif permettant d'enregistrer la courbe courant-potential.

Q 6. La courbe obtenue, en raisonnant en densité de courant, est représentée sur la figure 2. Quelles sont les réactions électrochimiques se produisant sur les portions repérées par les lettres (a), (b) et (c) ?

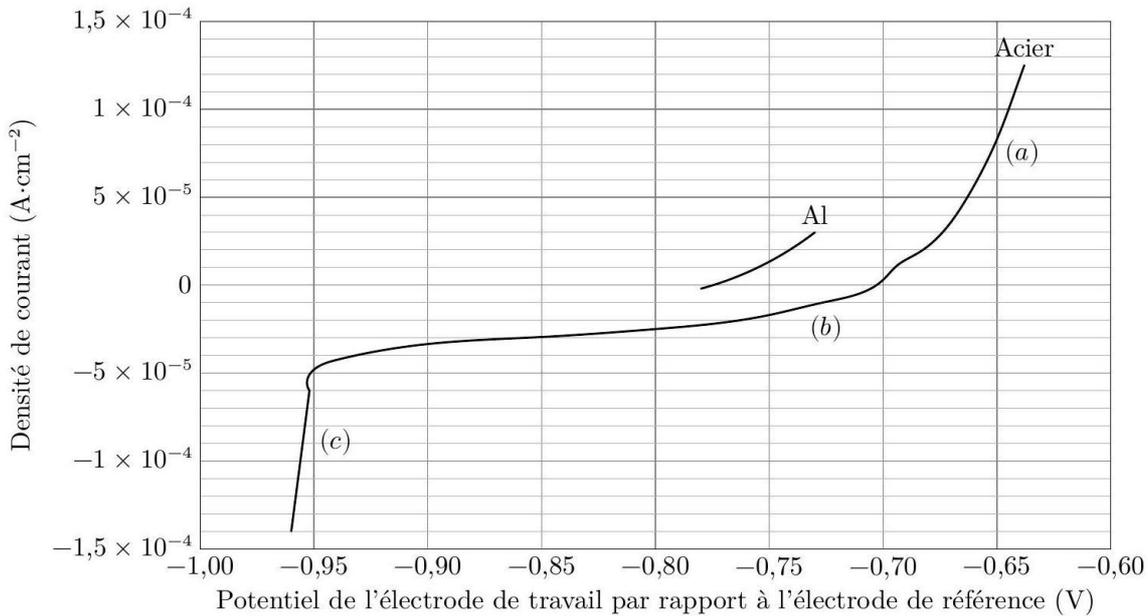


Figure 2 Courbe densité de courant-potential d'une pièce d'acier plongeant dans une solution modélisant le milieu marin et courbe densité de courant-potential anodique pour l'aluminium

Q 7. Estimer numériquement la surtension cathodique associée au couple H^+/H_2 . Dans leur étude, Kim et al. publient différentes courbes courant-potential obtenues pour le même système modèle, en modifiant la vitesse d'écoulement de l'eau salée autour des électrodes (figure B du document réponse). En les exploitant, ils montrent que la densité de courant de corrosion j_{corr} dépend de la vitesse d'écoulement de l'eau salée autour de l'électrode. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 1 où seule la vitesse d'écoulement change entre les différentes mesures effectuées.

vitesse d'écoulement ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	0	2	5
densité de courant de corrosion ($\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$1,79 \times 10^{-5}$	$2,46 \times 10^{-4}$	$8,49 \times 10^{-4}$

Tableau 1 Valeurs des densités de courant de corrosion en fonction de la vitesse d'écoulement du fluide autour de l'électrode

Q 8. Pour chacune des courbes représentées sur la figure B, entourer la partie correspondant à un phénomène de limitation du courant lié à la cinétique de transport du dioxygène dissout dans l'eau.

Q 9. Proposer une interprétation qualitative à l'augmentation de la densité de courant de corrosion avec la vitesse d'écoulement du fluide autour de l'électrode.

C - Protection par anode sacrificielle

Pour protéger de la corrosion la coque en acier inoxydable du Waverider, on lui associe une anode sacrificielle en aluminium. L'aluminium s'oxyde en Al^{3+} .

Pour comprendre le rôle de la pièce d'aluminium, on s'appuie sur la figure 2 sur laquelle la courbe densité de courant-potentiel anodique d'une pièce d'aluminium a été juxtaposée à celle de l'acier.

Q 10. Afin de décrire les phénomènes se produisant lorsque l'acier en contact avec l'aluminium est laissé à l'abandon dans un milieu marin, compléter le schéma de la figure C du document réponse en portant dans chaque cadre rectangulaire le nom d'une espèce physico-chimique.

On suppose que les pièces d'acier et d'aluminium présentent la même surface active et que les réactions électrochimiques s'y répartissent uniformément.

Q 11. Estimer numériquement la densité de courant de corrosion j_{corr} associée à cette situation, en $A.cm^{-2}$. Dans ces conditions, une certaine épaisseur Δe_{Al} d'aluminium est consommée pendant une durée Δt .

Q12. Déterminer l'expression de $\Delta e_{Al}/\Delta t$ en fonction de $j_{corr}, \mathcal{F}, \rho_{Al}, M_{Al}$, puis calculer numériquement l'épaisseur d'aluminium consommée en une année.

Q 13. La sphère d'acier inoxydable présente un diamètre de 70 cm et les anodes d'aluminium une surface de l'ordre de $30 cm^2$ et une épaisseur de 3 cm. Le constructeur recommande de renouveler ces anodes tous les trois ans. Confronter ces données aux résultats de la question précédente et proposer une explication aux éventuelles divergences.

Données numériques

- Masse molaire de l'aluminium $M_{Al} = 27,0 g.mol^{-1}$
- Masse volumique de l'aluminium $\rho_{Al} = 2720 kg.m^{-3}$
- Produit ionique de l'eau $K_e = 10^{-14}$
- Charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} C$
- Constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23} mol^{-1}$
- Constante de Faraday $F = N_A e = 96500 C.mol^{-1}$
- $\frac{RT}{\mathcal{F}} \ln 10 = 0,06 V$
- Potentiels standards

Couple	O_2/H_2O	H^+/H_2
E°	1,23 V	0 V

Document réponse à détacher et à rendre.

NOM PRENOM :

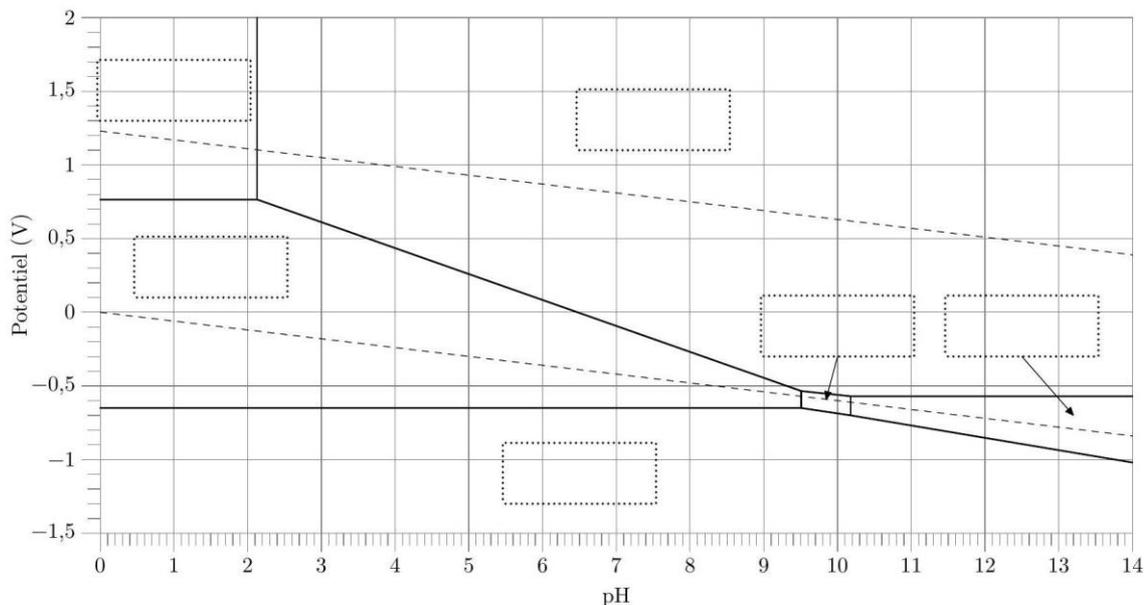


Figure A Digramme potentiel-pH du fer

Question 8

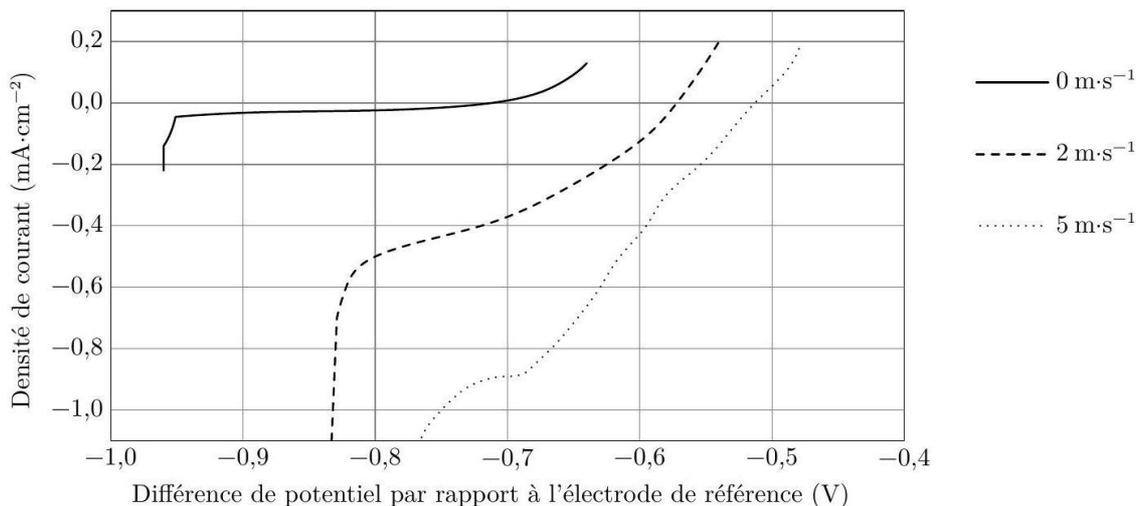


Figure B Courbes densité de courant-potential d'une pièce d'acier plongeant dans une solution modélisant le milieu marin et s'écoulant à différentes vitesses

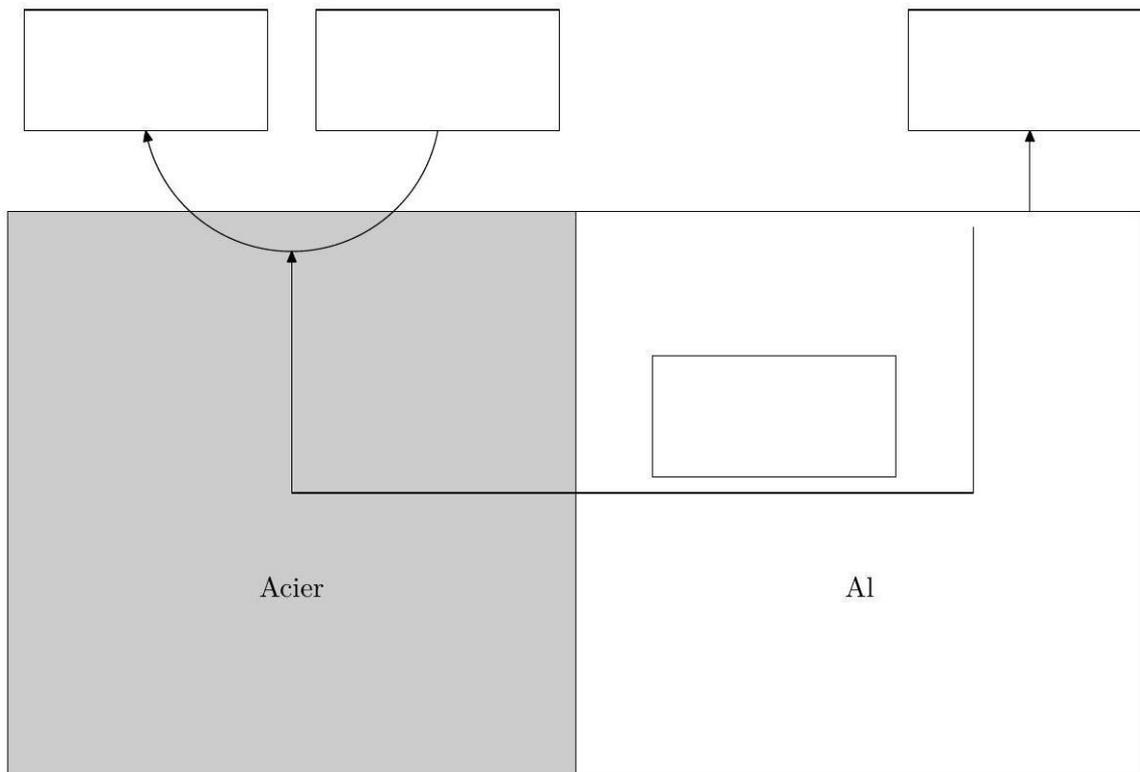


Figure C Acier et aluminium en contact dans l'eau