



SCIENCES PHYSIQUES

PREAMBULE

♦ *Données numériques*

Potentiels normaux de quelques couples $E^0(V)$

Couples	$E^0(V)$
Cl_2 / Cl^-	1,36
O_2 / H_2O	1,23
Fe^{3+} / Fe^{2+}	0,77
Cu^{2+} / Cu	0,34
H_3O^+ / H_2	0
Pb^{2+} / Pb	-0,13
Sn^{2+} / Sn	-0,14
Fe^{2+} / Fe	-0,44
Zn^{2+} / Zn	-0,76
Na^+ / Na	-2,71

Masse molaire en $g.mol^{-1}$

$M(H) = 1$

$M(O) = 16$

$M(Fe) = 55,8$

$M(Zn) = 65,4$

Constante d'Avogadro : $N^{\circ} = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$

Charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 m.s^{-2}$

♦ *Moment d'inertie d'un disque :*

Pour un disque homogène de masse M et de rayon R , le moment d'inertie par rapport à un axe (Δ) passant par son centre est $J = MR^2$

♦ *Volume d'une sphère de rayon r :* $V = \frac{4}{3} \pi r^3$

♦ *Poussée d'Archimède*

Tout corps immergé dans un fluide au repos subit de la part du fluide une force verticale, appelée poussée, dirigée vers le haut, égale en intensité au poids du fluide déplacé et appliquée au centre de masse K du fluide déplacé ; K est appelé centre de carène.

Si V est le volume du fluide déplacé, μ la masse volumique de ce fluide et g l'intensité de la pesanteur, l'intensité F de la poussée est donnée par : $F = \mu g V$.

PREMIERE PARTIE : ANALYSE DE TEXTE

Quelques scientifiques et inventeurs français

Lire attentivement le texte ci-dessous puis répondre aux questions qui suivent.

Jacques-Yves Cousteau (1910-1997), officier de marine et océanographe, a toujours aimé l'eau et tout jeune, s'intéressait aux machines. Le cinéma le fascinait aussi. C'était dans la

CLASSES TERMINALES

marine qu'il a développé la machine qui permettait aux plongeurs de respirer à l'aide d'une bouteille d'air comprimé et donc de rester plus longtemps submergés. Il était Directeur du Musée océanographique de Monaco et a parcouru le monde sur son bateau, le Calypso, explorant le monde sous-marin et promouvant la conservation des ressources marines. Il est devenu membre de l'Académie française en 1988.

Maurice de Broglie (1875-1960), militaire et un des grands maîtres de la physique expérimentale, a été élu en 1934 à l'Académie française et était également Grand Officier de la Légion d'Honneur. Pendant la Première Guerre Mondiale, il a inventé un appareil qui permettait aux sous-marins de recevoir des signaux. Après la guerre, il a fait ses recherches sur les rayons X et a découvert les spectres corpusculaires des éléments (auxquels il allait donner son nom) permettant de pénétrer directement dans l'atome.

Augustin Fresnel (1788-1827), physicien français, était un des fondateurs de la théorie des ondes de lumière en appliquant l'analyse mathématique à son travail. Le travail de Fresnel l'a amené à travailler sur des phares et dans d'autres domaines techniques qui exigeaient des lumières fortes et concentrées. Le dessin de base de l'objectif Fresnel existe encore aujourd'hui, employé dans des appareils aussi divers que les phares, les projecteurs ou les panneaux solaires des navettes spatiales.

Joseph-Michel Montgolfier (1740-1810) a apporté des améliorations à la manufacture du papier, mais ses travaux les plus célèbres étaient dans les domaines de l'hydraulique et de l'aéronautique. En 1783 les frères de Montgolfier, Joseph et Etienne (1745-1799), ont montré au public pour la première fois le modèle d'un ballon à air chaud, et en présence de Louis XVI et de Marie Antoinette, ils ont fait voler un ballon portant un mouton, un canard et un coq pour montrer qu'il était possible de survivre dans le ciel. Quelques semaines plus tard, les premiers voyageurs humains ont survolé Paris.

1.1 Pourquoi les plongeurs ont-ils besoin d'être équipés d'une bouteille d'air comprimé ?

1.2 Citer des causes chimiques et physiques possibles de la destruction des « ressources marines »

1.3 Quel est le nom donné à l'appareil qui « permet aux sous-marins de recevoir des signaux » ?

Quels modes de communication modernes à distance par signaux applicables aux navires et aux satellites connaissez-vous ?

1.4 Quelle est la théorie des ondes lumineuses dont il est question dans le texte ?

Quelle(s) autre(s) théorie(s) de la lumière connaissez-vous ?

Exposer brièvement cette (ces) théorie (s).

1.5 Expliquer le principe du ballon à air chaud ; qu'appelle-t-on « montgolfières » ?

DEUXIEME PARTIE : MISE A L'EAU D'UN SOUS-MARIN

On considère un sous-marin destiné à la pose de fibres optiques sur fond marin, descendu à partir d'un navire.

2.1 Etude de l'équilibre d'un modèle réduit du navire flottant.

Un corps homogène, de masse M , de masse volumique ρ , assimilable à une boîte parallélépipédique dont les dimensions extérieures sont : longueur L parallèle à Ox , largeur b selon Oy , et hauteur h selon Oz , est immergé dans deux fluides non miscibles en équilibre hydrostatique, ayant les masses volumiques μ_1 et μ_2 .

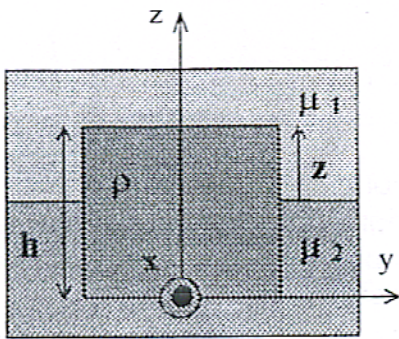


Figure (a)

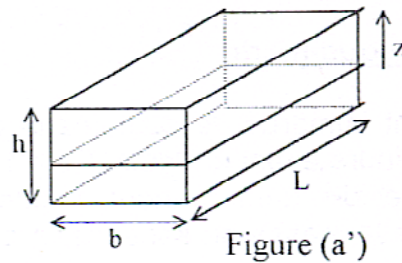


Figure (a')

2.1.1 Le corps est en équilibre dans une position verticale comme indiqué sur les figures (a) et (a'). On désigne par z la distance de la face supérieure de la boîte par rapport à la surface de séparation des deux fluides.

- Faire le bilan des forces appliquées à la boîte. Recopier la figure (a) sur votre copie et représenter ces forces.
- Ecrire la condition d'équilibre du solide dans le référentiel terrestre. En déduire la valeur Z_0 de z à l'équilibre.
- Quelles conditions doit satisfaire ρ pour que l'équilibre existe ?

2.1.2 Le corps flottant est un navire ayant la forme de la boîte décrite ci-dessus (figure b).

Il est immergé dans l'air et l'eau de mer dont les masses volumiques respectives sont :

$$\mu_1 = 1,29 \text{ kg.m}^{-3} \text{ et } \mu_2 = 1026 \text{ kg.m}^{-3}$$

On donne $M = 20 \text{ t}$; $L = 10 \text{ m}$; $b = 4 \text{ m}$ et $h = 3 \text{ m}$

Déterminer la carène, c'est-à-dire la profondeur h' d'immersion du navire dans l'eau.

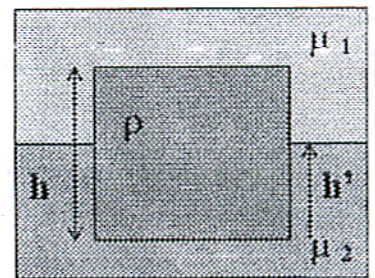


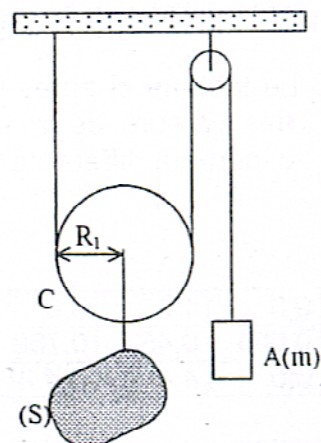
Figure b

2.2 Mise à l'eau du sous-marin.

Un sous-marin (S), destiné à la pose de fibres optiques sur fond marin, est descendu à partir du bateau grâce au système décrit ci-dessous.

Le disque (C) est muni d'une gorge dans laquelle passe un câble de masse négligeable et supposé inextensible. Ce disque est lié au sous-marin et l'ensemble (C ; S) à une masse M_1 .

Le dispositif permettant une descente contrôlée est représenté par le contrepois A de masse m , pour des raisons de simplification. On supposera de plus qu'il y a roulement sans glissement des poulies sur le fil. On négligera la masse de la petite poulie.



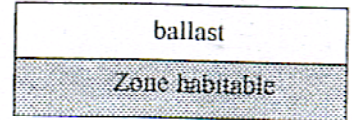
2.2.1 Donner l'expression de l'accélération a_1 , suivant la verticale ascendante, du centre C_1 du disque avant que l'ensemble atteigne la surface de l'eau.

On assimilera l'ensemble (C,S) à un disque homogène de rayon R_1 et de masse M_1

2.2.2 Discuter la valeur de a_1 en fonction du rapport $\eta = \frac{m}{M_1}$.

2.3 Flottabilité du sous-marin

Une fois totalement immergé, le sous-marin est abandonné seul. On l'assimilera à un cylindre ayant un rayon $R_s = 1,5$ m et une longueur $L_s = 6$ m. La masse du demi-cylindre inférieur (l'habitacle), qui représente la totalité de la masse du sous-marin à vide (ballasts vides) est $M_s = 25$ t. Les ballasts, occupant exactement le volume du demi-cylindre supérieur, sont remplis d'eau de mer.



2.3.1 Déterminer son accélération a_2 . Que se passe-t-il alors ?

2.3.2 On chasse ensuite l'eau des ballasts avec l'air comprimé. Quelle quantité d'eau en volume faut-il évacuer au minimum pour que le sous-marin puisse flotter ?

2.3.3 Déterminer par rapport au centre de symétrie du cylindre, les positions du centre de poussée K et du centre de masse G .

TROISIEME PARTIE : EXPERIENCE A BORD

On suppose que le navire est immobile dans le référentiel terrestre.

Un expérimentateur à bord étudie le mouvement de chute d'une balle de tennis de masse $m = 50$ g, de rayon $r_0 = 3,35 \cdot 10^{-2}$ m et de volume V_0 .

A la date $t = 0$, la balle est lâchée sans vitesse initiale d'un point O pris comme origine de l'axe vertical $z'z$ orienté vers le bas.

A l'aide d'un dispositif approprié, l'expérimentateur enregistre les valeurs successives de la cote z du centre d'inertie G de la balle.

3.1 Etablir la nature du mouvement de la balle dans le référentiel terrestre dans l'hypothèse où on néglige toute influence de l'air.

3.2 Donner les lois de variation en fonction du temps, de la vitesse théorique $v_{th} = f(t)$ et de la cote théorique $z_{th} = g(t)$ de la balle. En déduire la relation entre v_{th} et z_{th} .

3.3 Le tableau ci-après donne les valeurs expérimentales de z à différentes dates t . A partir des valeurs de z , une méthode appropriée a permis d'obtenir la vitesse v du centre d'inertie à différentes dates.

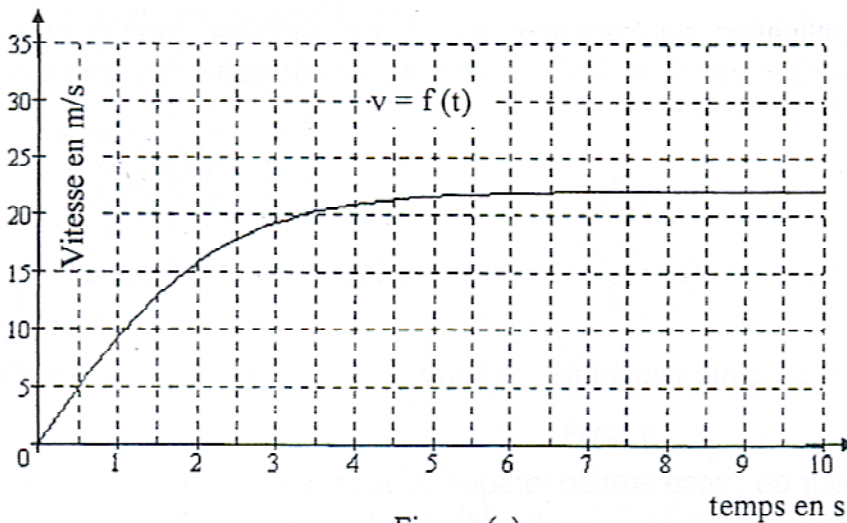
Tableau

z (m)	0,0	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
t (s)	0,000	0,453	0,788	1,024	1,219	1,390	1,546	1,820	2,138	2,693	3,195	3,669
v (m/s)	0,0	4,4	7,4	9,5	11	12	13	15	17	19	21	22

3.3.1 Montrer, par analyse numérique, que ces données ne sont pas compatibles avec les lois établies en 3.2.

Quelle conclusion en tirez-vous ?

3.3.2 Les résultats du tableau précédent permettent d'obtenir le graphique de la figure (c) ci-après (courbe expérimentale).



- a) Recopier cette figure et tracer en pointillé, sur le même système d'axes, le graphique $v_{th} = f(t)$.
- b) Evaluer graphiquement la différence $\Delta v = v_{th} - v$ entre la vitesse théorique et la vitesse expérimentale à chacune des dates : 0 s ; 0,1 s ; 0,3 s ; 0,5 s ; 1 s ; 2,5 s et 3,5 s.
Quelle remarque peut-on faire ? Conclure.

3.3.3 Lors de la chute, la balle interagit avec l'air. Citer les deux types de molécules qui constituent majoritairement l'air qui nous entoure.

3.3.4 A partir du graphique, préciser comment varie l'accélération du centre d'inertie de la balle au cours du mouvement entre les dates $t = 0$ s et $t = 4$ s. justifier votre réponse.

3.3.5 Dans l'étude dynamique du mouvement, il faut tenir compte de deux nouvelles forces qui s'exercent sur la balle du fait de la présence de l'air :

- la poussée d'Archimède \vec{f}_A dont la valeur constante au cours de la chute est égale au poids d'un volume d'air V_0 . (On rappelle que V_0 est le volume de la balle de tennis) ;
- une force de frottement \vec{f} dont la valeur peut s'écrire :

$$f = \frac{1}{2} C_x \mu S v^2$$
et qui est donc proportionnelle :
 - Au carré de la vitesse v .
 - A la section S de la balle, ici égale à πr^2 (aire du disque de rayon r)
 - A la masse volumique μ de l'air,
 - A un coefficient de forme C_x qui, pour une sphère, vaut 0,44.

- a) Calculer la valeur de la poussée d'Archimède sur la balle de tennis en considérant que dans les conditions de l'expérience, la masse volumique μ de l'air est égale à $1,3 \text{ kg.m}^{-3}$ et montrer que cette force peut être négligée devant le poids de la balle

- b) Vérifier que l'application du théorème du centre d'inertie conduit alors (la poussée d'Archimède étant négligée) à une équation (que l'on ne cherchera pas à résoudre) de la forme :

$$\frac{dv}{dt} = g \left(1 - \frac{v^2}{V^2} \right)$$

en posant $\beta = \frac{1}{2} C_x \mu S$ et $V^2 = \frac{mg}{\beta} = \text{constante}$. (pour un objet donné).

- c) A l'aide de l'analyse dimensionnelle, montrer que V a les dimensions d'une vitesse.
- d) Quelle est la valeur de l'accélération lorsque la vitesse v atteint la valeur V ?
- e) Quelle est la nature du mouvement ultérieur ?

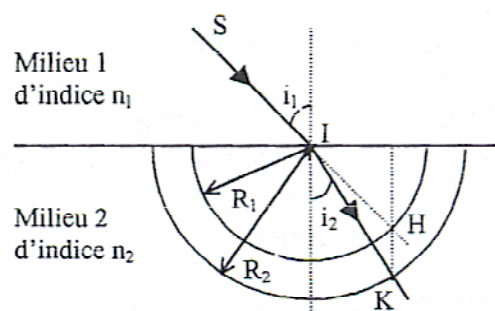
3.3.6

- a) Montrer que dans le cas d'un corps sphérique de rayon r et de masse volumique ρ , on peut écrire :
- $$V = \sqrt{\frac{8g r \rho}{3 \mu C_x}}$$
- b) De deux sphères de même rayon mais de masses volumiques différentes, quelle est celle qui « tombe le plus rapidement » ? Justifier votre réponse.

QUATRIEME PARTIE : A PROPOS DU MATERIEL A BORD

Réfraction

Il existe en optique géométrique une méthode de construction graphique du rayon réfracté sur un dioptré sans rapporteur. A partir du point d'incidence I , on construit deux demi-cercles de rayons R_1 et R_2 correspondants aux valeurs des indices de réfraction de chacun des milieux de propagation. Le prolongement de SI coupe le demi-cercle (1) en un point H . En abaissant la perpendiculaire au plan représentant la surface du dioptré, on obtient sur l'autre demi-cercle, un point K par où passe le rayon réfracté.



4.1 A partir de cette construction, retrouver la formule illustrant la seconde loi de la réfraction : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$.

4.2 Afin d'observer la pose des fibres optiques au fond de la mer, on utilise un dispositif optique à base d'un prisme en verre. On se propose d'étudier une méthode de détermination de l'indice de réfraction n , d'un verre, en utilisant un prisme de section rectangulaire. Limitons notre étude à une radiation monochromatique, se propageant dans un plan de section droite. Ceci étant, l'angle de déviation D est fonction à la fois de l'angle d'incidence i et de la longueur d'onde λ . A l'aide de la figure (d), exprimez l'angle du prisme A en fonction de r et r' , puis D en fonction de i , i' et A .

CLASSES TERMINALES

4.3 L'expérience montre que pour une radiation monochromatique, la déviation D passe par un minimum D_m quand i varie.

4.3.1 Montrer à partir des relations (1), (2) et (3) ci-dessous, que le minimum $\frac{dD}{di}$, est de la

forme :

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos r' \cdot \cos i}{\cos i' \cdot \cos r}$$

- (1) $\cos i \cdot di = n \cos r \cdot dr$
- (2) $\cos i' \cdot di' = n \cos r' \cdot dr'$
- (3) $dr + dr' = 0$

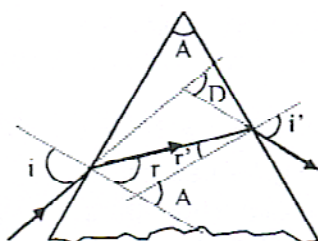


Figure (d)

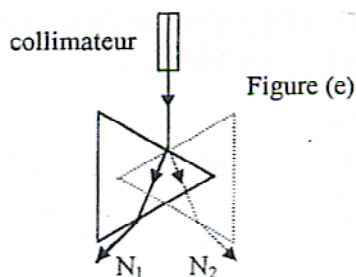


Figure (e)

4.3.2 Le minimum est atteint pour $\frac{dD}{di} = 0$. En déduire que $\sin^2 r = \sin^2 r'$.

4.3.3 La seule solution acceptable étant $r = r'$, en utilisant la seconde loi de la réfraction pour le dioptre air-verre, déduire l'indice de réfraction :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

4.4 Pour déterminer D_m , on vise avec une lunette, à travers le prisme, les images d'une fente F , formées par les rayons qui se réfléchissent sur les deux faces de l'angle A . On fait ensuite tourner le prisme tout en observant l'image jusqu'à ce que le déplacement de celle-ci change de sens, ce qui correspond au minimum de déviation. On recommence ensuite avec une autre position angulaire N_2 du prisme (figure (e)).

$$\text{Alors } D_m = \frac{N_1 - N_2}{2}$$

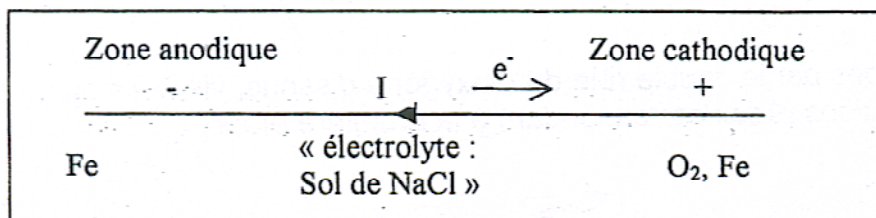
On obtient avec un prisme d'angle au sommet $A = 59^\circ 57'$, des valeurs des positions $N_1 = 303^\circ 30'$ et $N_2 = 205^\circ 50'$. Donner la valeur de l'indice de réfraction n .

CINQUIEME PARTIE : ACTION CHIMIQUE DE L'EAU DE MER SUR LE NAVIRE

Notre navire ayant une coque à base métallique, il se pose le problème de la corrosion, surtout dans l'eau de mer. Cela entraîne des difficultés techniques et économiques non négligeables, voir importantes. On estime à environ 5 % de l'acier produit, la proportion qui disparaît ainsi, soit environ 35 millions de tonnes. Intéressons nous particulièrement à la corrosion humide, c'est-à-dire celle qui concerne les facteurs chimiques contenus dans l'eau, les sols ou l'air humide.

La corrosion électrochimique du fer.

Elle correspond à une oxydation du fer en ions Fe^{2+} , et les électrons libérés vont créer des zones d'oxydation et de réduction formant ainsi des sites de micro piles.



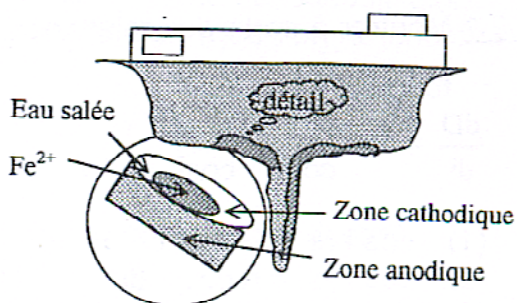
CLASSES TERMINALES**Formation de la rouille**

le nombre d'oxydation du fer passe ensuite de II à III. Il se forme de l'oxyde de fer III :

$\text{Fe}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$ que l'on représente plus simplement sous la forme $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ce composé de la « rouille » ne constituant pas une couche protectrice, l'effet se poursuit en profondeur dans le métal.

Interprétation

Il y a attaque du métal, surtout dans les irrégularités de la surface, les rayures... là où le contact surfacique est plus grand, et où il y a le plus de contraintes. On constate paradoxalement que ce n'est pas en surface que la corrosion est prépondérante, mais au fond, alors que le dioxygène dissous y est moins important. Il y a eu formation de micro-pile. Le dioxygène est réduit à la cathode qui est la partie supérieure de la coque du bateau. Le fer est donc oxydé plus bas.



La corrosion de la coque du bateau est plus importante sur la quille qu'à la ligne de flottaison : c'est l'effet Evans

Protection par revêtement

- revêtement passif : peinture, plastiques...
- Revêtement métallique : par dépôt électrolytique, immersion dans un bain ou projection au pistolet. On ne peut cependant protéger n'importe quel métal avec n'importe quel autre. Si le métal protecteur est plus réducteur la protection est dite électrochimique. C'est le cas du fer galvanisé, c'est à dire protégé par un film de zinc. Si une rayure apparaît sur la coque, l'eau de mer (électrolyte), entre en contact avec le fer. Une micro pile sera constituée dont le fer sera le pôle positif (+). Le zinc, plus réducteur constitue l'anode de la pile et sera oxydé à la place du fer qui est protégé tant qu'il reste du zinc. On fixe ainsi sur les coques de bateau, des plaques de zinc destinées à servir d'anode de corrosion sacrificielle.

Avec un métal moins réducteur, la couche de protection doit être absolument continue. Ces métaux sont utilisés surtout à des fins esthétiques ou pour leur innocuité (boîtes de conserve en fer étamé).

Protection cathodique

Le métal est protégé s'il est le siège d'une réduction. Il suffit alors d'en faire la cathode d'un système d'électrolyse. Par exemple une canalisation en acier, enterrée est reliée au pôle négatif d'un générateur continu, le pôle positif (+) est relié à une anode en fer ou graphite destinée à être sacrifiée et remplacée.

Protection par passivation

Certains métaux s'oxydent en créant une couche auto-protectrice (aluminium et sa couche d'alumine). D'autres le deviennent par intervention chimique (passivation du fer par l'acide nitrique fumant).

5.1 Question n°1 : rouille

5.11 La rouille s'obtient en deux étapes par le double rôle du dioxygène dissous, vis-à-vis du fer ? Ecrire les deux demi-équations rédox correspondant à la première étape.

CLASSES TERMINALES

5.12 Ecrire la demi-équation rédox pour la deuxième étape (oxydation du Fer (II)) et l'équation de la transformation de l'ion fer (III) en hydroxyde de fer (III).

5.2 Question n°2 : Protection par anode soluble

5.21 Pour protéger la coque du bateau en fer, on fixe sur celle-ci, sous la ligne de flottaison, des blocs de zinc. Pourquoi ce choix du zinc ? Pourquoi sous la ligne de flottaison ?

5.22 Ecrire la réaction d'oxydation mise en jeu avec le zinc.

5.23 Une masse de 50,0 kg ayant disparu en 6 mois, quelle quantité d'électricité a traversé la coque ?

5.24 Sans cette protection, quelle masse de rouille $\text{Fe}(\text{OH})_3$, aurait été formée ?

5.3 Question n°3 : protection par revêtement

5.31 Avant la peinture extérieure, on passe une couche rouge d'anti-rouille de minium, à base de Pb_3O_4 . Certains « atomes de plomb » y sont au nombre d'oxydation (+II), d'autres (+IV). Déterminer les proportions de cette répartition.

5.32 Sans les nombres d'oxydation, équilibrer l'équation : $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{C} \longrightarrow \text{Pb} + \text{CO}_2$
Vérifier que les sommes des degrés d'oxydation gagnés et perdus sont égales.

5.33 En quoi cette peinture est - elle dangereuse et interdite dans certains pays ?

5.34 En quoi l'eau salée est-elle plus corrosive ?