

COMPO de Physique

4 heures - Calculatrice interdite

Tous les problèmes sont indépendants. Certaines questions sont aussi indépendantes et peuvent être traitées séparément. Ce sujet est sans doute un peu long pour les 4h de compo.

Consignes

- Lisez le sujet en intégralité avant de commencer.
- Tout résultat fourni dans l'énoncé peut-être utilisé pour des questions ultérieures, même s'il n'a pas été démontré.
- **Encadrez vos résultats, et soulignez les applications numériques en couleur.**
- **Tout résultat non homogène entraînera un retrait de point.**
- Tout schéma plus petit que votre carte d'étudiant sera invisible.
- Scannez vos copies dans l'ordre !

Problème 1 : Etude d'un système liquide-vapeur

durée conseillée : 1h-1h20

L'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur est caractérisé, à différentes températures, par les données suivantes :

θ en °C	P_s en bar	Liquide saturant		Vapeur saturante	
		$v_\ell \times 10^{-3}$ m ³ /kg	h_ℓ kJ/kg	v_g m ³ /kg	h_g kJ/kg
35	0,056	1,00	150	25,2	2560
50	0,12	1,01	210	12,0	2600
100	1,013	1,04	420	1,7	2670
185	11,2	1,13	780	0,17	2780
285	69,2	1,35	1 260	0,028	2770

- ◇ θ : température en degré Celsius
- ◇ P_s : pression de vapeur saturante
- ◇ v_ℓ : volume massique du liquide saturant
- ◇ h_ℓ : enthalpie massique du liquide saturant
- ◇ v_g : volume massique de la vapeur saturante
- ◇ h_g : enthalpie massique de la vapeur saturante.

Dans tout ce problème on notera θ la température en °C et on lui associera T la température en K. Par exemple, pour une grandeur notée θ' on lui associera T' en K.

Partie n°1: Diagramme de Clapeyron (P,v) du système liquide-vapeur de l'eau

On désigne par P la pression du système liquide-vapeur et par v son volume massique.

1. Représenter l'allure du diagramme de Clapeyron (P, v) de l'eau. On prendra soin de préciser la position du point critique C , les domaines liquide L , liquide + vapeur $L + V$, et vapeur V .
2. Représenter, sur le diagramme précédent l'allure de l'isotherme critique T_C et préciser ses caractéristiques. Représenter, sur le diagramme précédent l'allure d'une isotherme $T < T_C$ et justifier la présence d'un palier sur cette isotherme.
3. On rappelle que le titre massique en vapeur x d'un système liquide-vapeur est égal au rapport entre la masse m_g d'eau à l'état de vapeur saturante et la masse totale m du système. On désigne, respectivement par : v et h , le volume massique et l'enthalpie massique du système liquide-vapeur.

Montrer que le titre massique en vapeur x est donné par l'une quelconque des relations ci-dessous :

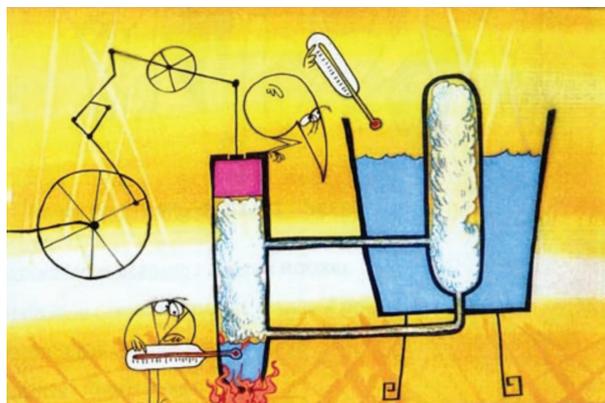
$$x = \frac{v - v_\ell}{v_g - v_\ell} \quad x = \frac{h - h_\ell}{h_g - h_\ell}$$

4. On désigne par $\ell_{\text{vap}}(T)$ la chaleur latente massique de vaporisation à la température T . Rappeler la relation reliant $\ell_{\text{vap}}(T)$ à $h_g(T)$ et $h_\ell(T)$. Calculer $\ell_{\text{vap}}(T)$ à 35 °C, 50 °C, 100 °C, 185 °C et 285 °C.
5. Exprimer l'entropie massique de l'eau liquide à la température T en fonction de l'entropie massique de l'eau liquide à la température T_0 : $s_0 = s(T_0)$ et de la capacité thermique de l'eau liquide c_ℓ .
6. Exprimer la variation d'entropie massique $\Delta_{\text{vap}}s(T)$ associée au changement d'état de l'eau liquide à la température T à de l'eau vapeur à la température T en fonction de $\ell_{\text{vap}}(T)$, m et T . En déduire la variation d'entropie massique associée à la transformation d'une fraction massique x d'eau de l'état liquide à l'état vapeur à la température T .

Partie n°2: Détente adiabatique réversible d'un système liquide-vapeur

On dispose d'un cylindre indéformable muni d'un piston. Le cylindre et le piston ont des parois calorifugées.

On note $s(x, T)$ l'entropie massique d'un système liquide-vapeur, de titre massique en vapeur x , en équilibre à la température T .



7. En utilisant les résultats établis questions 5 et 6, exprimer l'entropie massique $s(x, T)$ en fonction de s_0 , T_0 , c_ℓ , ℓ_{vap} et x .

Le piston est, initialement, fixé dans une position qui délimite un volume $V = 10$ L dans le cylindre. L'introduction d'une masse $m = 10$ g d'eau dans le cylindre permet d'obtenir un système liquide-vapeur en équilibre à la température $\theta = 100$ °C.

8. Calculer le titre massique en vapeur x de ce système.

9. On fait subir au système liquide-vapeur défini ci-dessus une détente adiabatique réversible de la température θ à la température $\theta' = 50$ °C. Sachant que c_ℓ reste constante au cours de cette détente et égale à 4,2 kJ/kg, exprimer le titre massique en vapeur x' du système liquide-vapeur à la fin de la détente. Poser l'application numérique sans chercher à la calculer.

L'application numérique donne $x' = 0,57$.

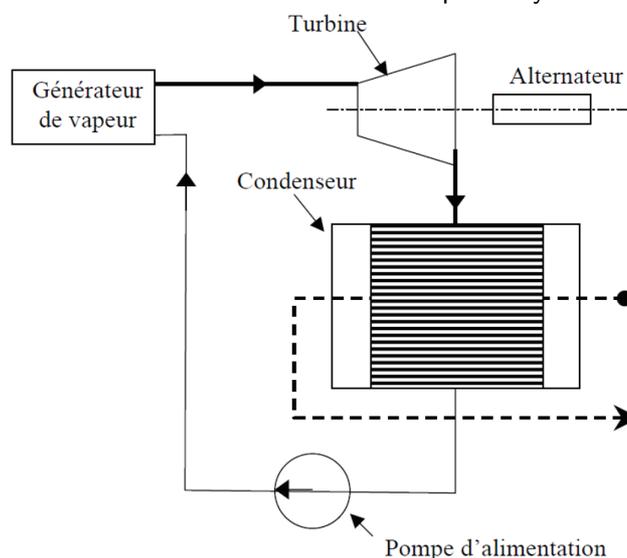
10. Quel titre massique en vapeur x'' devrait-on prendre à la température $\theta = 100$ °C, pour qu'au cours de la détente définie à la question 9 ce titre reste constant ?

Dans la suite du problème tous les calculs se rapporteront à une masse $m = 1 \text{ kg}$ de fluide. La capacité thermique massique c_ℓ du liquide est constante et vaut $4,2 \text{ kJ/kg}$.

Partie n°3: Modèle de fonctionnement d'une turbine à vapeur. Cycle de Rankine

Le circuit secondaire d'une centrale nucléaire comporte les éléments suivants : un générateur de vapeur, une turbine, un condenseur et une pompe d'alimentation (voir la figure ci-contre).

Les transformations subies par l'eau dans ce circuit sont modélisées par le cycle de Rankine décrit ci-dessous :



- ◇ $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible du liquide, dans la pompe d'alimentation, de la pression $P_1 = 0,056 \text{ bar}$ à la pression $P_2 = 69,200 \text{ bar}$. Le liquide est saturant à la sortie du condenseur à la pression P_1 (état A). Cette compression entraîne une élévation $\Delta T = T_B - T_A$ de la température du liquide.
- ◇ $B \rightarrow D$: échauffement isobare du liquide dans le générateur de vapeur qui amène le liquide de l'état B à l'état de liquide saturant sous la pression P_2 (état D).
- ◇ $D \rightarrow E$: vaporisation totale, dans le générateur de vapeur, sous la pression P_2 . En E la vapeur est saturante-sèche.
- ◇ $E \rightarrow F$: détente adiabatique réversible, dans la turbine, de P_2 à P_1 . On suppose qu'en F le système est diphasé.
- ◇ $F \rightarrow A$: liquéfaction totale, dans le condenseur, sous la pression P_1 , de la vapeur présente dans l'état F .

11. Quelle est la température au point A ? au point D ? au point F ? Justifier brièvement.

12. Représenter le cycle décrit par l'eau dans le diagramme de Clapeyron (P, v).

L'entropie massique du liquide s'écrit, en fonction des variables T et P :

$$s(T, P) = c_\ell \ln(T) - \alpha v_\ell P + \text{cste}$$

où α désigne le coefficient de dilatation isobare de l'eau liquide supposé constant. $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ et v_ℓ son volume massique $v_\ell = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

13. On note $\Delta T = T_B - T_A$ l'élévation de la température du liquide dans la pompe d'alimentation. Sachant que $\Delta T \ll T_A$, Exprimer puis calculer ΔT . En hommage à M. Bourrigan, on pourra écrire un équivalent ou même faire un développement limité (sans pour autant s'embêter avec des o).

Dans la suite du problème on négligera ΔT . C'est-à-dire que l'on considérera que A et B sont sur la même isotherme.

14. Exprimer le titre x_F . L'application numérique donne $x_F = 0,7$. Puis exprimer et calculer l'enthalpie massique h_F du système liquide-vapeur sortant de la turbine (état F).

15. Exprimer et calculer les transferts thermiques Q_1 et Q_2 reçus par $m = 1 \text{ kg}$ d'eau, respectivement, dans le condenseur et dans le générateur de vapeur.

16. Calculer le travail W reçu, par 1 kg de fluide, au cours du cycle.
17. Calculer le rendement η du cycle. Comparer ce rendement à celui η_{ca} d'un cycle de Carnot décrit entre les mêmes températures extrêmes $T_1 = T_A$ et $T_2 = T_D$.

Problème 2 : Chauffage d'une habitation

durée conseillée : 30 à 50 min

On souhaite maintenir la température d'une habitation (H) à la température $T_H = 293$ K, alors que la température de l'extérieur (E) est égale à $T_E = 273$ K.

Pour cela, on doit fournir à la maison la puissance thermique $\mathcal{P} = 12$ kW qui correspond aux pertes thermiques.

On propose dans ce problème de comparer différents procédés de chauffage.

Partie n°1: Chauffage direct

On chauffe directement la maison en utilisant du bois comme combustible.

1. Déterminer la masse m_B de bois consommée par heure sachant que le pouvoir calorifique du bois est : $q_B = 18$ MJ/kg.

Partie n°2: Pompe à Chaleur

On utilise maintenant une PAC (Pompe à chaleur) fonctionnant réversiblement.

La machine thermique imaginé par Carnot en 1824 fonctionne, de façon cyclique, au contact de deux thermostats appelés aussi sources de chaleur dont la température est considérée comme constante. L'objectif de Carnot fut d'optimiser le rendement et l'efficacité de ces machines.

Les notations utilisées sont les suivantes :

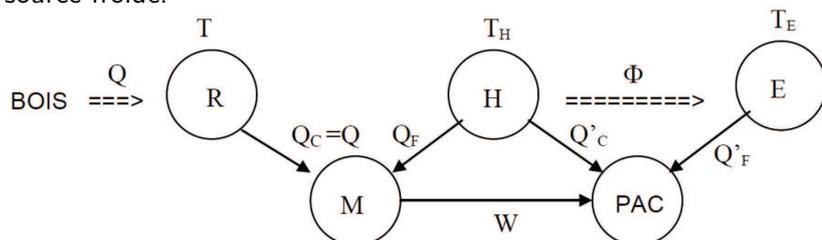
- ◇ W : transfert mécanique ou travail reçu par la machine.
- ◇ Q : transfert thermique reçu par la machine.
- ◇ SC : source chaude à la température T_C . La machine reçoit Q_C de la source chaude.
- ◇ SF : source froide à la température T_F . La machine reçoit Q_F de la source froide.

Par convention $T_C > T_F$.

2. Faire le schéma de principe d'une pompe à chaleur et donner le signe des différentes grandeurs W , Q_C et Q_F .
3. Définir l'efficacité d'une pompe à chaleur.
4. En supposant que la PAC équipant l'habitation est parfaite et fonctionne de manière réversible, exprimer puis calculer son efficacité e_c .
5. En déduire la puissance électrique du moteur alimentant la PAC.

Partie n°3: Système plus élaboré

On imagine maintenant que le bois est utilisé pour maintenir la température $T = 573 \text{ K}$, d'un réservoir (R) qui sert de source chaude (SC) à un moteur dont la source froide (SF) est constituée par l'habitation (H). Le travail fourni par le moteur est intégralement transformé en énergie électrique. Celle-ci sert à alimenter une PAC fonctionnant réversiblement entre (H) qui sert de source chaude et (E) qui sert de source froide.



On note Q le transfert thermique fourni par le bois et transmis au moteur par l'intermédiaire du réservoir.

6. Préciser les signes de Q_C , Q'_C , Q_F , Q'_F et de W .

7. Exprimer, en fonction de Q et des températures, le transfert thermique Q_H reçue par l'habitation de la part des deux machines (M et PAC), qui fonctionnent de façon réversible.

8. En déduire la masse m'_B de bois consommée par heure. Comparer m'_B et m_B .

Partie n°4: Etude du cycle de la PAC

Le fluide utilisé à l'intérieur de la PAC est de l'air assimilé à un gaz parfait de coefficient γ , auquel on fait décrire un cycle réversible ABCDA formé de deux isentropiques ($A \rightarrow B$ et $C \rightarrow D$) et de deux isobares ($B \rightarrow C$ et $D \rightarrow A$).

9. Tracer l'allure du cycle dans un diagramme $P(V)$.

10. On donne $P_A = 10 \text{ bar}$, $T_A = 293 \text{ K}$, $P_C = 1 \text{ bar}$, $T_C = 273 \text{ K}$. Exprimer T_B et T_D en fonction des données T_A , T_C , P_A et P_C .

11. Exprimer l'efficacité e_2 de la PAC en fonction des quatre températures. Faire l'application numérique en prenant $T_B = 152 \text{ K}$ et $T_D = 527 \text{ K}$. Comparer cette efficacité à l'efficacité de Carnot. Commenter en indiquant d'où proviennent les différences.

Problème 3 : Dosages pH-métriques

durée conseillée : 1h

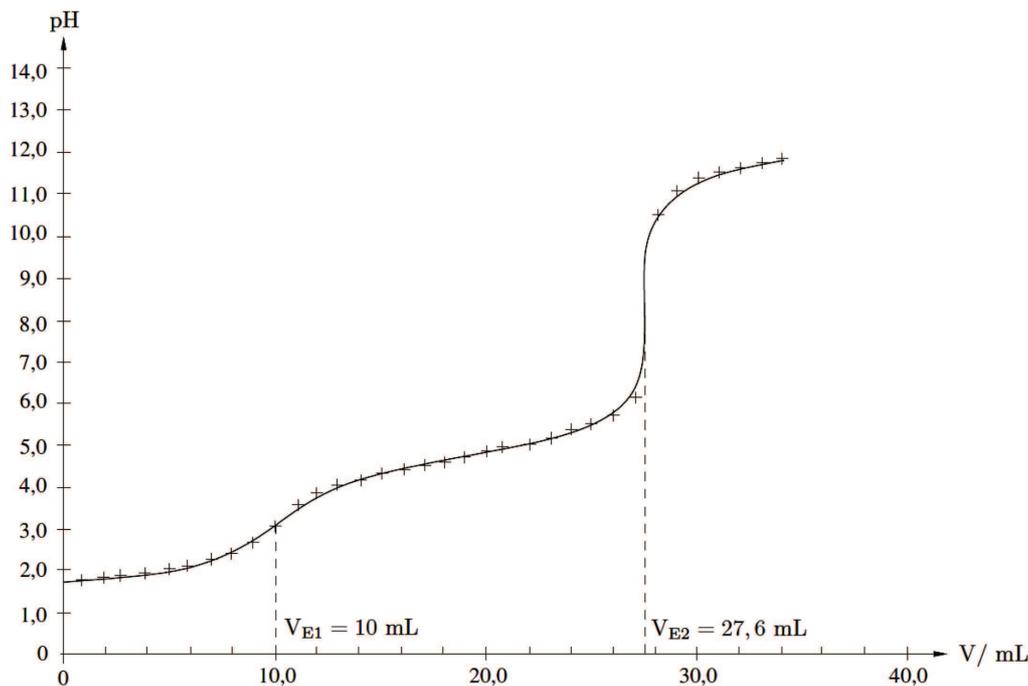
Partie n°1: Dosage

On veut réaliser le dosage pH-métrique d'un mélange d'acide fort, l'acide chlorhydrique, de concentration C_1 et d'acide éthanöïque ($K_a = 10^{-4.8} = 1,6 \cdot 10^{-5}$) de concentration C_2 par une solution de soude de concentration $C_B = 0,100 \text{ mol/L}$.

On prélève $V_0 = 25 \text{ mL}$ du mélange et on ajoute $V_0 = 25 \text{ mL}$ d'eau distillée dans un bécher de 150 mL .

1. Quelles sont les deux réactions de titrage qui ont lieu au cours de cette expérience. Calculer leur constante d'équilibre et justifier qu'il s'agit de réactions (quasi-)totales.

La figure suivante donne la courbe obtenue à l'issue du dosage.



2. Ecrire les relations aux équivalences et en déduire les concentrations C_1 et C_2 .

3. Comment retrouver le pK_a de l'acide éthanoïque à partir de la courbe de titrage ?

Partie n°2: Sang en milieu tamponné

Dans cette partie, tous les calculs seront effectués à 37 °C, température du corps humain.

Données :

- ◇ Produit ionique de l'eau : $K_e = 2,4 \cdot 10^{-14}$
- ◇ Constante d'acidité : $K_a(\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-) = 4,30 \cdot 10^{-7}$ et $pK_a = 6,4$.
- ◇ $\log(2) = 0,3$, $\log(\frac{4}{26}) = -0,8$, $\log(\frac{5}{28}) = -0,7$, $\log(\frac{3}{28}) = -0,95$.

L'activité métabolique et l'ingestion d'aliments peuvent introduire des espèces acido-basiques dans le sang. Or, la survie des cellules nécessite que le pH varie très peu autour d'une valeur optimale. Ainsi le sang humain constitue un milieu tamponné : son pH varie très peu par addition d'un acide ou d'une base ou par dilution. Le pH reste compris dans l'intervalle 7,34 – 7,44 en temps normal.

4. On considère le couple $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$. Ecrire l'équation de la réaction de l'acide avec l'eau et exprimer la constante d'acidité K_a .

5. Représenter le diagramme de prédominance de ces deux espèces en fonction du pH.

6. Le sang est en partie tamponné par le couple $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{CO}_3^-$ avec une concentration totale

$$C_0 = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{CO}_3^-] = 0,33 \text{ mol/L.}$$

Sachant que le pH du sang vaut 7,40, exprimer puis donner un ordre de grandeur des concentrations en $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ et $[\text{HCO}_3^-]$.

Lors d'un effort physique important, il se forme de l'acide lactique $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$ noté HB, qui est ensuite éliminé dans le sang sous la forme d'ion lactate B^- selon la réaction prépondérante quantitative :



7. Pour un apport de $2,00 \cdot 10^{-3}$ mol/L d'acide lactique, quelle est la nouvelle valeur du pH du sang? Cette valeur est-elle compatible avec la vie?
8. En réalité, la respiration permet de maintenir constante la concentration en H_2CO_3 (calculée question 6) en éliminant l'excès de H_2CO_3 issus de (1) par l'expiration de dioxyde de carbone. Dans ces conditions, quelle est la nouvelle valeur du pH après un apport de $2,00 \cdot 10^{-3}$ mol/L d'acide lactique?

Problème 4 : Etudes de pigments utilisés en peinture

durée conseillée : 1h - 1h20

Les mesures sont toutes réalisées à 25 °C. Les potentiels sont mesurés par rapport à l'électrode standard à hydrogène. On utilisera, à cette température, l'approximation :

$$\frac{RT}{F} \ln(x) = 0,06 \log(x) \quad F \text{ constante de Faraday, } R \text{ constante des gaz parfaits et } T = 298 \text{ K.}$$

Les différentes parties sont indépendantes.

Données :

- ◇ potentiels standard :

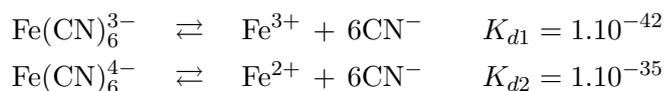
$$E_1^0 = E^0(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = 0,44 \text{ V}$$

$$E_2^0 = E^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ V.}$$

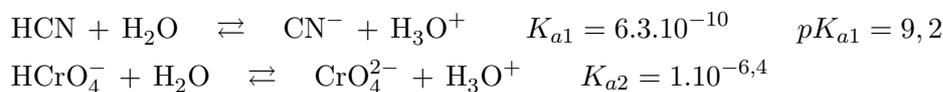
- ◇ produits de solubilité :

- Bleu de Prusse : $[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\text{Fe}_4$ formé par réaction de Fe^{3+} avec $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$. $K_{s1} = 3,2 \cdot 10^{-41}$.
- Jaune : $\text{PbCrO}_{4(s)} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-}$ $K_{s2} = 1 \cdot 10^{-13}$.
- Rose : $\text{MnS}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + \text{S}^{2-}$ $K_{s3} = 1 \cdot 10^{-9,6}$.
- Noir : $\text{PbS}_{(s)} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-}$ $K_{s4} = 1 \cdot 10^{-27,8}$.

- ◇ Constantes de dissociation :



- ◇ Constantes d'acidité :



- ◇ Masses molaires atomiques :

- $M(\text{H}) = 1$ g/mol,
- $M(\text{C}) = 12$ g/mol,
- $M(\text{N}) = 14$ g/mol,
- $M(\text{O}) = 16$ g/mol,
- $M(\text{Pb}) = 207$ g/mol,

- ◇ Aide au calcul :

$$\left(\frac{10^{-2}}{6^6}\right)^{1/6} \simeq 0,1$$

Partie n°1: Pigment Bleu

Le bleu de Prusse est un précipité $[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\text{Fe}_{4(s)}$ obtenu par réaction de $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ sur Fe^{3+} selon :



On s'intéresse à la chimie des espèces utilisées pour sa synthèse.

1. Quelle est la valeur du potentiel d'une électrode de platine plongeant dans une solution dans laquelle les concentrations initiales en ions Fer sont : $c_{\text{Fe}^{2+}} = c_{\text{Fe}^{3+}} = 1 \text{ mol/L}$?
2. Quelle est la valeur du potentiel d'une électrode de fer plongeant dans cette même solution ?
3. Pour quelles valeurs du pH HCN est-il négligeable par rapport à CN^- ? On se place dans cette condition par la suite. Quel est alors le potentiel standard du couple ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$) ?
4. A une concentration de $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ est-elle une espèce dangereuse sachant que la limite légale admissible en ions cyanure CN^- est de $1 \mu\text{g/L}$?

Une personne a ingéré du CN^- . On cherche à la traiter avec une solution contenant des ions Fe^{2+} ou Fe^{3+} .

5. Lequel est le plus efficace à concentration égale pour diminuer la quantité de CN^- libre ?
6. La personne a initialement une concentration en CN^- libre égale à 3 fois la dose admissible. A quelle concentration doit-on lui administrer des ions Fer pour faire baisser cette concentration en-dessous de la dose admissible ?

Partie n°2: Pigment jaune

Le "jaune de chrome" est obtenu par action du chromate CrO_4^{2-} sur une solution contenant des ions Pb^{2+} . Par précipitation dans l'eau, on obtient $\text{PbCrO}_{4(s)}$.

7. Dans quel domaine de pH doit-on opérer pour que CrO_4^{2-} soit prépondérant ?
8. Après précipitation, on filtre le mélange. On lave ensuite le $\text{PbCrO}_{4(s)}$ avec une eau à $\text{pH} = 7$. Quelle est la teneur en ions Pb^{2+} de cette eau ? Dépasse-t-elle la norme légale de $50 \mu\text{g/L}$ en ions plomb ?
9. Dans les ouvrages de peinture, on déconseille de mélanger le jaune de chrome et le sulfure de manganèse rose, ce qu'on pourrait être tenté de faire pour obtenir teinte couleur chair. Justifier en calculant la constante de la réaction susceptible de se produire.

Partie n°3: Pigments blancs

On peut utiliser $\text{ZnO}_{(s)}$ ou $\text{TiO}_{2(s)}$ comme pigment blanc. On donne ci-dessous les diagrammes de Pourbaix (diagramme E-pH) des éléments Zinc Zn et Titane Ti dans l'eau à 25°C . Les concentrations totales des espèces solubles sont égales à $c = 1 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$, avec équirépartition de l'élément considéré, aux frontières. Les droites limitant les domaines de réduction et d'oxydation de l'eau y sont représentées en pointillés notées *a* et *b* sur le diagramme de l'élément Titane.

10. Identifier les espèces chimiques des zones 1 à 7 du diagramme de Ti sachant qu'on considère $\text{Ti}_{(s)}$, Ti^{2+} , $\text{Ti}(\text{OH})_{3(s)}$, $\text{TiO}_{3(s)}$, Ti^{3+} , $\text{TiO}_{2(s)}$ et $\text{TiO}_{(s)}$ (remplir ou recopier le tableau réponse page suivante).
11. Retrouver par le calcul la pente de la frontière entre les zones 2 et 4.
12. Les pigments ZnO et $\text{TiO}_{2(s)}$ sont-ils stables dans l'eau ?
13. On utilisait principalement $\text{ZnO}_{(s)}$ jusqu'en 1920 quand il a été remplacé par $\text{TiO}_{2(s)}$. Justifier que l'utilisation d'un acide fort comme l'acide nitrique permet de dater un tableau en distinguant quel pigment blanc est utilisé.

14. Quelle réaction peut-on envisager si on utilise une spatule en Zn pour peindre avec un pigment blanc TiO_2 . Calculer sa constante.

Rq Les diagrammes potentiel-pH (E-pH) sont aussi appelés diagrammes de Pourbaix.

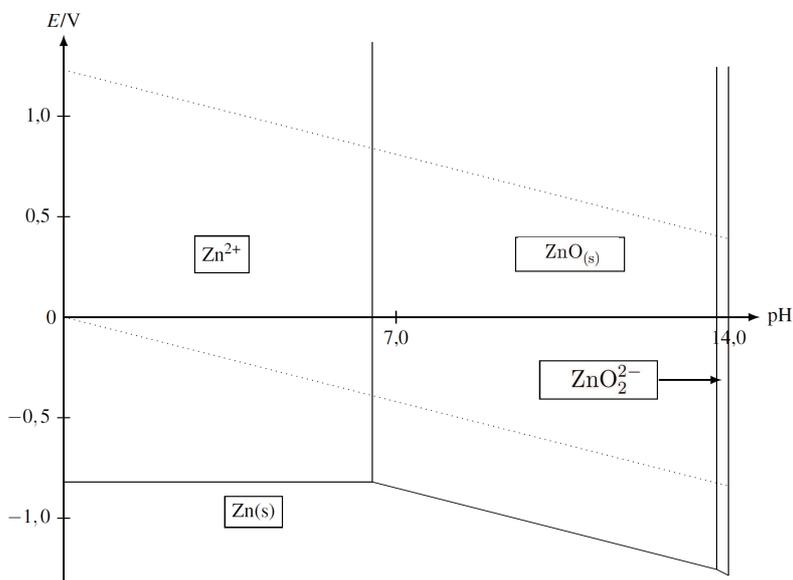


Diagramme de Pourbaix du Zinc

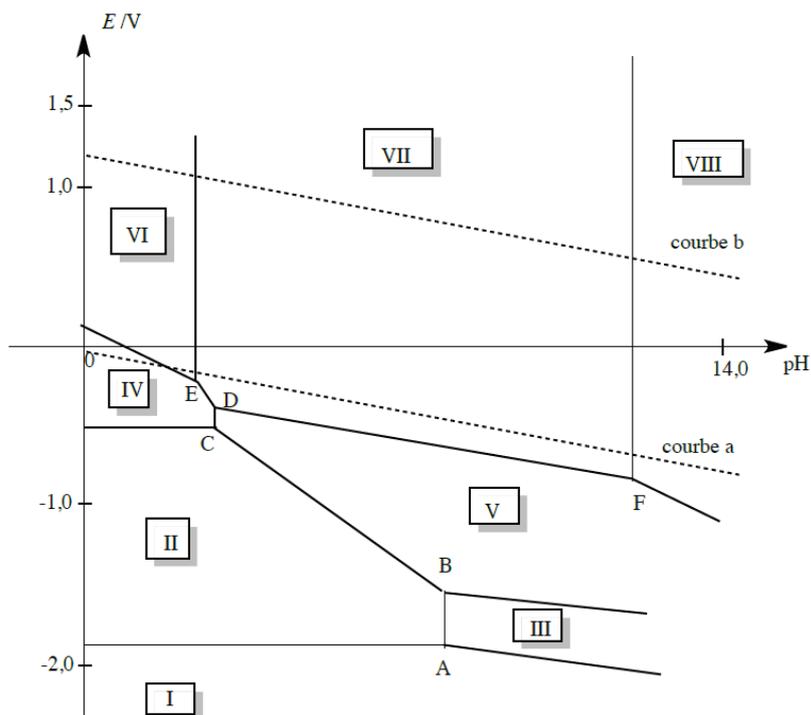


Diagramme de Pourbaix du Titane

Tableau - Réponse

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
							HTiO_3^-

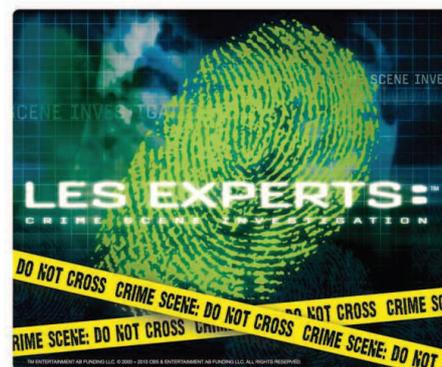
Problème 5 : Les experts Miami

durée conseillée : 20-30 min

Dans l'épisode 24 de la saison 7 des Experts Miami *Totale Dissolution*, Horatio Cain et son équipe doivent neutraliser la soude présente dans une piscine dans le pH est proche de 12 afin de pouvoir récupérer un corps sans vie.

La discussion entre Horatio et Adam est la suivante :

- Horatio : *We need to neutralize this alkali. We can't wait for Hazmat. Get some vinegar.*
- Adam : *We're gonna need a lot of it. I'm gonna go to a grocery store.*



Sur la vidéo, dans la suite de l'épisode, on peut voir qu'Adam a rapporté une vingtaine de bidons d'un gallon environ.

Données

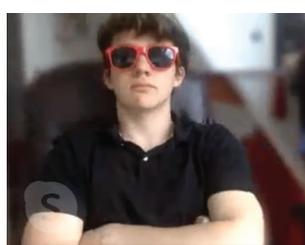
- ◇ Le vinaigre est une solution aqueuse à 8 % en masse d'acide acétique.
- ◇ Acide acétique ou acide éthanoïque CH_3COOH , $M = 60 \text{ g/mol}$, $pK_a = 4,8$.
- ◇ Le gallon (symbole gal) est une unité de volume aux Etats-Unis : $1 \text{ gal} \simeq 3,8 \text{ L}$.
- ◇ "Alkali" signifie base ou soude (ce nom fait référence à l'ion alcalin Na^+ associé à la soude).
- ◇ "Hazmat" est l'abréviation de Hazardous Materialis Team.

Estimer la quantité de soude pour prévoir la quantité d'acide nécessaire pour neutraliser la base.

Pour répondre à cette question il vous appartient de modéliser la situation et de mettre le problème en équation.

Il est par exemple attendu que :

- vous représentiez par un ou des schémas la situation physique étudiée et/ou que vous écriviez les équations-bilan des réactions que vous considérez,
- vous choisissiez les notations que vous utilisez en attribuant un nom à chacune des grandeurs physiques que vous êtes amené à introduire,
- que vous précisiez les lois que vous appliquez et les éventuelles hypothèses et approximations que vous utilisez,
- que les éventuels calculs soient menés sous forme littérale, avec pour objectif final d'obtenir une valeur numérique.



Notre équipe d'experts



Bon week-end!