

Exercices d'oraux

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Sommaire | 1 |
| 1 Exemples officiels CCP 2017, proposés par le jury du concours | 3 |
| 1.1 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, ondes (trombone, VMC) | 4 |
| 1.2 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, diagrammes E-pH et piles (accumulateur Pb, pile à combustibles) | 6 |
| 1.3 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, transferts thermiques et électronique | 8 |
| 1.4 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, thermochimie (synthèse SO ₃) | 9 |
| 1.5 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, statique fluides (force sur barrage) | 9 |
| 1.6 ▶ TSI CCP, exemples officiels 2017, thermodynamique (pompe à chaleur) | 9 |
| 2 Exemples officiels CCS 2017, proposés par le jury du concours | 11 |
| 2.1 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, thermodynamique (cycle Éricsson) | 12 |
| 2.2 TSI CCS, exemples officiels 2017, optique ondulatoire (exp. Fizeau) | 13 |
| 2.3 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, thermochimie (synthèse méthanol) | 15 |
| 2.4 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, induction et magnétostatique (pince ampèremétrique) | 16 |
| 2.5 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, électronique | 17 |
| 2.6 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, optique (identification source) | 18 |
| 2.7 ▶ TSI CCS, exemples officiels 2017, chimie (autour du mercure) | 19 |

Exemples officiels CCP 2017, proposés par le jury du concours

Préambule du document CCP 2017 et extraits du rapport du jury 2016 :

→ 30' de préparation de l'exercice 1 + 30' de présentation (qui se décomposent en 20' sur l'exercice 1, puis 10' sur un exercice 2 donné en direct)

- L'énoncé de l'exercice 1 est communiqué au candidat dès son entrée dans la salle : **l'intégralité des trente minutes de préparation est consacrée à cet exercice** qui porte sur la chimie ou sur la physique et qui peut comporter des questions d'ordre expérimental et des approches documentaires. Les questions sont en général assez détaillées.

Lors de la présentation, **le candidat expose pendant vingt minutes le travail effectué pendant la préparation.**

- Au bout de 20 minutes de présentation, l'examineur fournit au candidat l'énoncé de l'exercice 2 : **les dix minutes restantes sont consacrées à la résolution de cet exercice** dont l'énoncé est suffisamment court pour être lu en une durée tout à fait raisonnable. Il consiste en une résolution de problème, une approche documentaire ou une approche expérimentale (sans manipulation).

Les candidats disposent d'une calculatrice de type collègue (toute calculatrice personnelle est interdite). Un sujet sur trois porte sur de la chimie, deux sur trois sur de la physique.

1.1 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, ondes (trombone, VMC)

1.1 – Correction

Remarque : Si on bloque trop sur les questions 1, on peut commencer par la 2 en admettant la relation donnée $c = 2L(L_2 - L_1)$. Quoiqu'il en soit, il faut réfléchir à toutes les questions pendant la préparation. Ici il est donc raisonnable, après 15 ou 20 minutes de préparation, d'attaquer la question 2.

1. a. Oui car la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$ est nulle, donc on a des interférences constructives.
- b. On a $d_2 = d_1 + 2L$. La différence de marche est $\delta = d_2 - d_1 = 2L$, et l'ordre d'interférence est donc $p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2L}{\lambda} = \frac{2L f}{c}$.

On a interférences constructives (son maximal) si $p = k$ avec $k \in \mathbb{Z}$, soit si $\frac{2L f}{c} = k, k \in \mathbb{Z}$.

On a interférences destructives (son nul) si $p = k + 1/2$ avec $k \in \mathbb{Z}$, soit si $\frac{2L f}{c} = k + \frac{1}{2}, k \in \mathbb{Z}$.

- c. Les fréquences supprimées sont données par $f = \frac{c}{2L} \left(k + \frac{1}{2} \right)$ avec $k = 0, 1, 2, \dots$

Ainsi le dispositif n'atténue que quelques fréquences, en nombre fini, et non pas une plage continue de fréquences. Or la ventilation émet dans toutes les fréquences. Ce n'est donc pas très intéressant.

- d. Le son produit par le haut-parleur doit être en opposition de phase par rapport au son qui lui arrive dessus (comme pour les nouveaux casques audio).

2. a. L_1 correspond à $2L_1 = (k + 1/2)\lambda$, et L_2 à l'extinction suivante donc à $2L_2 = (k + 1 + 1/2)\lambda$.

On a donc $2(L_2 - L_1) = \lambda = \frac{c}{f}$, soit $c = 2f(L_2 - L_1)$.

- b. Faire les A.N. sur votre feuille. Bien mettre la température en Kelvin.

- c. On peut tracer $y = c$ en fonction de $x = \sqrt{T}$, puisque la théorie prévoit alors $y = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}} x$, soit une droite.

(On peut aussi choisir de tracer $y = c^2$ en fonction de $x = T$.)

- d. On trouve normalement que les points sont alignés, ce qui confirme que la loi théorique est bien vérifiée.

- e. On mesure sur le papier la pente de la courbe : $a = (\text{accroissement des } y) / (\text{accroissement des } x)$.

Attention à l'unité : a a l'unité de c divisée par celle de \sqrt{T} , soit des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1/2}$.

Comme on a $y = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}} x$, la valeur de a donne alors la valeur de $\sqrt{\frac{\gamma R}{M}}$. Dans l'énoncé

on donne M et R . On peut en déduire la valeur de $\gamma = \frac{a^2 M}{R} = \dots$

On doit trouver une valeur proche de 1.4.

- f. On a une incertitude $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L = 1 \text{ mm}$ car on mesure avec une règle graduée au millimètre.

On a la formule $c = 2f(L_2 - L_1)$.

Donc en première approximation, on a $\Delta c = 2f(\Delta L_2 + \Delta L_1)$ (on pourrait utiliser une formule plus exacte, mais c'est suffisant ici) (on remarque bien qu'on ajoute les

incertitudes : elles peuvent se cumuler) (on remarque aussi qu'on néglige l'incertitude sur f), soit $\Delta c = 4f\Delta L = 2 \text{ m/s}$.

On a donc une incertitude relative de $\frac{\Delta c}{c} \sim 1\%$, ce qui est satisfaisant.

1.2 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, diagrammes E-pH et piles (accumulateur Pb, pile à combustibles)

1.2 – Correction

On remarque d'abord que si on bloque trop sur les premières questions, on peut reprendre à partir de la question 7, qui est indépendante du reste.

1. Pb : n.o. de 0, domaine I.

Pb^{2+} et PbO : n.o. de +II, c'est un couple acide base avec demi-équation $\text{Pb}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{PbO} + 2\text{H}^+$, donc Pb^{2+} est l'acide du couple (il cède un proton), et donc Pb^{2+} est dans le domaine II et PbO dans le domaine III.

Pb_3O_4 : n.o. de +8/3, domaine IV.

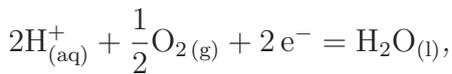
PbO_2 : n.o. de +IV, domaine V.

2. C'est un couple d'oxydoréduction. Demi-équation : $\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Formule de Nernst : $E = E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0 + \frac{0.06}{2} \log \frac{[\text{H}^+]^4}{[\text{Pb}^{2+}]} = E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0 - 0.12 \text{pH} - 0.03 \log c_{\text{tracé}} = E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0 - 0.12 \text{pH}$ (en volts) car $c_{\text{tracé}} = 1 \text{ mol/L}$.

On en déduit que l'ordonnée à l'origine de la frontière est $E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0$, et on lit donc sur le graphique que $E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0 = 1.45 \text{ V}$.

3. Couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$:



donc $E = E_{\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}}^0 + \frac{0.06}{2} \log \left([\text{H}^+]^2 P_{\text{O}_2}^{1/2} \right) = 1.23 - 0.06 \text{pH}$ (en volt).

On a utilisé $P_{\text{O}_2} = 1 \text{ bar}$, ce qui est la convention habituelle.

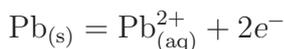
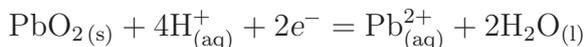
La pente est donc de -0.06 unité pH par volt.

4. (i) Pour $\text{pH} < 2.2$, les domaines de H_2O et Pb sont disjoints, donc la réaction entre le plomb et l'eau est thermodynamiquement possible.

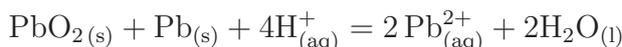
(ii) Pour $\text{pH} > 2.2$, les domaines ont une zone commune, et la réaction n'est donc pas possible : le plomb est alors stable dans l'eau.

5. Pb et PbO_2 ont des domaines disjoints (c-à-d pas de frontière commune), ils peuvent donc réagir (leur réaction est thermodynamiquement possible).

Les couples en jeu sont $\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}$ et Pb^{2+}/Pb . Demi-équations :



La somme des deux donne l'équation bilan (s'assurer qu'on élimine bien les électrons) :



Il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction. Comme l'élément plomb est présent à des n.o. différents à gauche (+IV dans PbO_2 et 0 dans Pb), puis dans un seul n.o. à droite (+II dans Pb^{2+}), on peut dire qu'il s'agit d'une réaction de médiamutation (l'inverse d'une dismutation).

6. D'après le diagramme, la réaction entre H_2O et Pb est thermodynamiquement favorisée pour $\text{pH} < 2.2$, ceci signifie donc que sa constante d'équilibre K^0 est grande. Mais ceci ne donne aucune information sur sa cinétique (donc sur la vitesse à laquelle elle se produit). Par contre, on sait que dans l'accumulateur au plomb une des électrodes est en plomb, le pH est inférieur

à 2.2, et l'électrode trempe dans une solution aqueuse. C'est donc que la cinétique de cette réaction est très lente (sinon l'électrode se dissoudrait dans l'eau).

Ensuite, la réaction $\text{PbO}_2(\text{s}) + \text{Pb}(\text{s}) + 4\text{H}^+_{(\text{aq})} = 2\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ est la réaction qui régit le fonctionnement de l'accumulateur. On sait qu'un accumulateur fonctionne bien, c'est donc que cette réaction est rapide.

7. a. On est en présence de $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ et $\text{O}_2(\text{g})$, qui sont les trois espèces qui interviennent dans les couples de l'eau. Il faut donc écrire les demi-équations correspondantes, en milieu basique car $\text{pH} = 14$ (donc faire intervenir $\text{HO}^-_{(\text{aq})}$ plutôt que $\text{H}^+_{(\text{aq})}$).

★ Couple $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$:

en milieu acide $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$,

en milieu basique (on ajoute 2HO^- des deux côtés) : $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- = 2\text{HO}^-_{(\text{aq})}$.

C'est une réduction. Elle a lieu à la cathode.

★ Couple $\text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{H}_2(\text{g})$, ou de façon équivalente $\text{H}^+_{(\text{aq})}/\text{H}_2(\text{g})$:

en milieu acide $\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^-$,

en milieu basique (on ajoute 2HO^- des deux côtés) : $2\text{HO}^- + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^-$.

C'est une oxydation, elle a lieu à l'anode.

- b. Bilan en sommant les deux réactions précédentes : $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Avantages : pas d'usure des électrodes car elles ne participent pas aux réactions. Utilisable à volonté tant qu'il y a du gaz en entrée.

Désavantage : il faut stocker et transporter du dihydrogène (gaz inflammable).

- c. Il faut écrire les potentiels de Nernst pour l'anode et la cathode à l'aide de la formule de Nernst. La fem est donnée par $E_+ - E_- = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}$. On trouve 1.23 V (à condition de prendre 1 bar pour les pressions en dihydrogène et dioxygène).

1.3 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, transferts thermiques et électronique

1.3 – Correction

1. L'utilisateur impose cinq tensions successives pour alimenter la résistance chauffante, de plus en plus élevées.

Les cinq paliers correspondent à chaque fois à l'atteinte du régime stationnaire : la température augmente puis se stabilise.

2. Il y a un flux thermique sortant de la boîte donné par $P_{\text{perdue}} = (T - T_{\text{ext}})/R_{\text{th}}$, avec T la température dans la boîte (faire un schéma électrique équivalent) (d'habitude on note P_{perdue} par Φ_{th} , mais peu importe, c'est une puissance perdue en watt).

La résistance apporte une puissance thermique $P_{\text{fournie}} = P$.

En régime permanent (cas de l'expérience 2), un bilan d'énergie sur la boîte indique que $P_{\text{fournie}} - P_{\text{perdue}} = 0$.

Soit : $T - T_{\text{ext}} = P R_{\text{th}}$.

On exploite alors le graphique de l'expérience 2, puisque la pente de la courbe tracée est égale à R_{th} . On trouve $R_{\text{th}} = 6.4 \text{ W/K}$.

3. De la conductivité thermique des murs de la boîte. Si celle-ci augmente, alors la résistance augmente.

De l'épaisseur des murs de la boîte. Si celle-ci augmente, alors la résistance augmente.

De la surface totale des murs de la boîte. Si celle-ci augmente, alors la résistance diminue.

Remarque : pour un barreau de section S , longueur L et conductivité thermique λ , on montre que sa résistance thermique est $R_{\text{th}} = \frac{L}{\lambda S}$.

4. Il faut montrer que $C \frac{dT}{dt} = P_{\text{fournie}} - P_{\text{perdue}} = P - (T - T_{\text{ext}})/R_{\text{th}}$, puis résoudre. Pour cela :

★ On applique le premier principe version H (car l'évolution est monobare avec $p = p_{\text{ext}}$) à la boîte et ce qu'elle contient, entre les instants t et $t + dt$.

On a donc $dH = \delta Q_{\text{reçu}} = P_{\text{fournie}} dt - P_{\text{perdue}} dt = P dt - \frac{T - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}} dt$.

De plus, $dH = C(T(t + dt) - T(t)) = C dT$.

On a donc bien $C \frac{dT}{dt} = P - \frac{T - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}}$, soit $\frac{dT}{dt} + \frac{1}{R_{\text{th}} C} T(t) = \frac{P}{C} + \frac{T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}} C}$.

★ Résolution dans le cas où $P = 0$ (c'est la question) : $T(t) = Ae^{-t/\tau} + T_{\text{ext}}$, avec $\tau = R_{\text{th}} C$. On détermine $A = T_0 - T_{\text{ext}}$ avec $T_0 = T(t = 0)$.

5. Interrupteur à gauche : $E = RC \frac{du_c}{dt} + u_c$, qu'on peut écrire $RC \frac{du_c}{dt} = E - u_c$ qui a la même forme que l'équation sur T lorsque la résistance est alimentée. On voit que R est analogue à R_{th} , et C à C .

Si interrupteur à droite on remplace E par 0. On a une décharge (analogue à l'arrêt du chauffage dans le cas thermique).

6. a) L'impédance d'entrée du boîtier d'acquisition n'est pas assez élevée devant la résistance R du circuit. Le branchement de la carte d'acquisition revient à placer une résistance $R_e = 10 \text{ M}\Omega$ en parallèle du condensateur. En régime permanent le condensateur est comme un

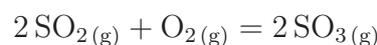
interrupteur ouvert, et un diviseur de tension (faire un schéma!) montre alors qu'on mesure à ses bornes une tension $U = E \times \frac{R_e}{R_e + R} = 4.5 \text{ V}$.

b) $RC = 10 \text{ s}$, donc la décharge du condensateur dure une minute environ. Or le temps d'acquisition de 0.1 s , ce qui ne permet pas du tout de la voir.

1.4 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, thermochimie (synthèse SO₃)

1.4 – Correction

Il faut écrire l'équation de la réaction :



(on peut aussi tout diviser par deux, mais l'énoncé donne K^0 pour une mole de dioxygène, c-à-d pour la réaction telle qu'écrite ci-dessus).

Il faut justifier :

- Le choix de la température plutôt élevée. Il faut raisonner sur $K^0(T)$.
- Le choix de la pression. Il faut utiliser le principe de Le Châtelier pour la pression et conclure qu'ici il faut travailler sous pression élevée.
- Le choix de travailler avec un excès de gaz coté réactifs. Montrer que $Q_r = \frac{n_{\text{SO}_3}^2}{n_{\text{SO}_2}^2 n_{\text{O}_2}} n_{\text{tot,gaz}} \frac{p_{\text{tot}}}{p^0}$.
Puis voir que si n_{O_2} augmente, alors $\frac{n_{\text{tot,gaz}}}{n_{\text{O}_2}} = \frac{n_{\text{O}_2} + n_{\text{SO}_2} + n_{\text{SO}_3}}{n_{\text{O}_2}} = 1 + \frac{n_{\text{SO}_2} + n_{\text{SO}_3}}{n_{\text{O}_2}}$ diminue, donc Q_r également, donc la réaction est déplacée dans le sens...
- Le choix de l'emploi d'un catalyseur : celui-ci agit sur la cinétique de la réaction.

(Remarque : l'énoncé indique que $K^0(T)$ croît avec la température, alors qu'un calcul avec des tables de données montre que $\Delta_r H^0 < 0$ et donc que $dK^0(T)/dT < 0$...)

1.5 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, statique fluides (force sur barrage)

1.5 – Correction

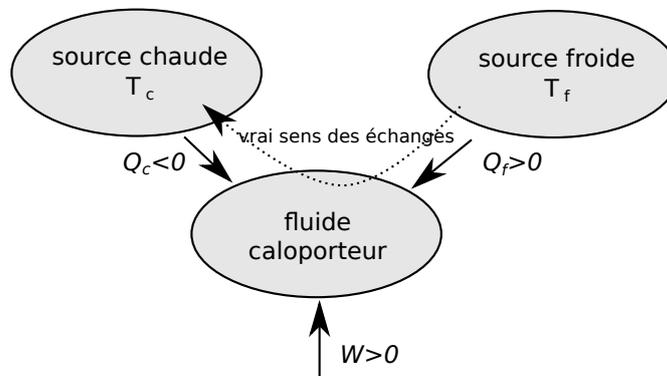
Il faut calculer la résultante des forces de pression, sans oublier que la pression dans l'eau augmente avec la profondeur.

Si on veut faire plus simple, on peut majorer la pression par la pression au fond de l'eau, et voir si la limite est tout de même respectée.

1.6 ► TSI CCP, exemples officiels 2017, thermodynamique (pompe à chaleur)

1.6 – Correction

On peut commencer par faire un diagramme du fonctionnement :



L'efficacité est $e = \frac{\mathcal{P}_{\text{fournie à source chaude}}}{\mathcal{P}_{\text{compresseur}}} = \frac{-Q_c}{W}$.

On raisonne plutôt sur un cycle infinitésimal. On a donc aussi $e = \frac{-\delta Q_c}{\delta W}$.

Deux moyens de faire :

1. $\mathcal{P}_{\text{compresseur}}$ est donné, donc $\delta W = \mathcal{P}_{\text{compresseur}} \times dt$.

Quant à δQ_c on utilise le premier principe entre les instants t et $t+dt$ à l'eau du seau d'eau chaude : $dU_c = \delta Q_{\text{reçu seau}} = -\delta Q_c$.

Or $dU_c = m_c c_{\text{eau}} dT_c$ avec m_c la masse d'eau chaude dans le seau et c_{eau} la capacité thermique massique de l'eau.

Donc on a $e = \frac{m_c c_{\text{eau}} dT_c}{\mathcal{P}_{\text{compresseur}} \times dt} = \frac{m_c c_{\text{eau}}}{\mathcal{P}_{\text{compresseur}}} \frac{dT_c}{dt}$.

Conclusion : on peut mesurer $\frac{dT_c}{dt}$ sur les courbes, mais il manque $m_c c_{\text{eau}}$.

2. On peut utiliser le premier principe sur le fluide frigorigéne sur un cycle infinitésimal : $0 = dU = \delta W + \delta Q_c + \delta Q_f$, et donc l'efficacité s'écrit

$$e = \frac{-\delta Q_c}{\delta W} = \frac{\delta Q_c}{\delta Q_c + \delta Q_f} = \frac{1}{1 + \delta Q_f / \delta Q_c}$$

Or, avec le premier principe sur le seau d'eau chaude on a (fait plus haut) : $m_c c_{\text{eau}} dT_c = -\delta Q_c$.

De même avec le seau d'eau froide on a : $m_f c_{\text{eau}} dT_f = -\delta Q_f$.

Donc $e = \frac{1}{1 + \frac{m_f dT_f}{m_c dT_c}}$.

Conclusion : on peut mesurer $\frac{dT_f}{dT_c}$ sur les courbes : c'est égal à l'accroissement de T_f divisé par celui de T_c , soit environ $-10/17 = -0.6$.

Mais il manque le rapport m_f/m_c , masse dans le seau d'eau froide divisé par la masse dans le seau d'eau chaude.

Remarque : Si les masses sont égales, on trouve une efficacité de 2.5.

Remarque : Si le fonctionnement de la pompe à chaleur est réversible (ce qui n'est pas le cas pour la pompe réelle), alors le second principe appliqué au fluide frigorigéne sur un cycle donne

$$0 = dS = \delta S_e = \frac{\delta Q_c}{T_c} + \frac{\delta Q_f}{T_f}, \text{ et donc } \frac{\delta Q_f}{\delta Q_c} = -\frac{T_f}{T_c}, \text{ et on obtient l'efficacité de Carnot (réversible) :}$$

$$e = \frac{1}{1 - T_f/T_c}$$

Mais ceci ne s'applique pas ici car le fonctionnement n'est pas réversible.

Exemples officiels CCS 2017, proposés par le jury du concours

Déroulement des épreuves orales à CCS : deux épreuves orales (physique-chimie 1 et 2) + un TP.

- **Physique-chimie 1 :** trente minutes de passage sans préparation.

“Cette épreuve s’appuie sur un exercice à l’énoncé bref permettant de tester la réactivité immédiate du candidat sur des thèmes proches du cours.”

- **Physique-chimie 2 :** trente minutes de préparation, trente minutes de passage.

“Les sujets pourront s’appuyer, pendant la phase de préparation, sur l’un ou l’autre des supports suivants : des documents de contexte ; des logiciels de simulation expérimentale et de tracé (à prise en main immédiate) ; des scripts Python à exploiter ; des données numériques, expérimentales, à traiter ; etc.”

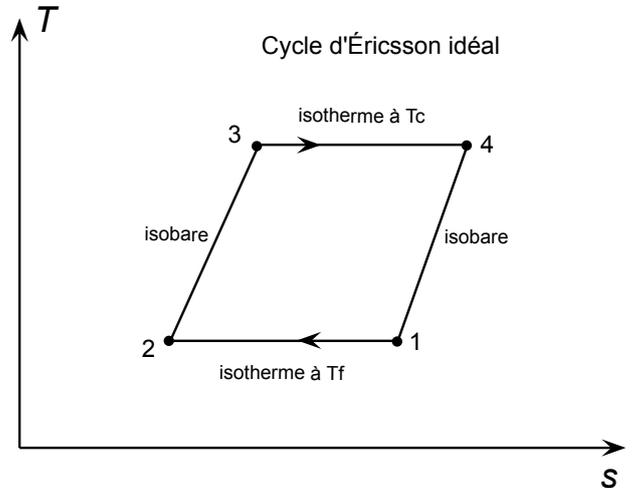
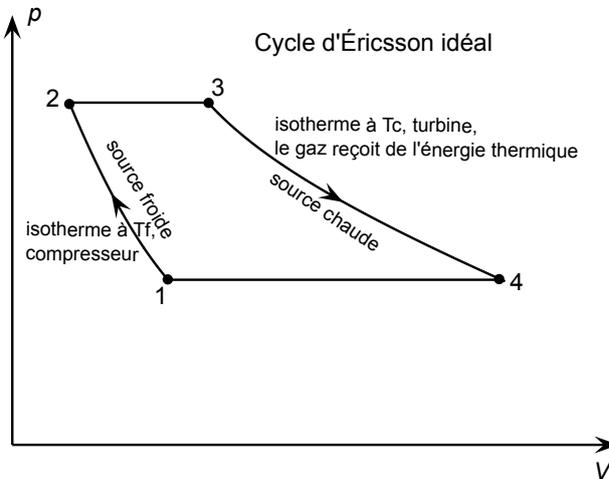
Il faut amener votre propre calculatrice pour la préparation et la présentation.

2.1 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, thermodynamique (cycle Éricsson)

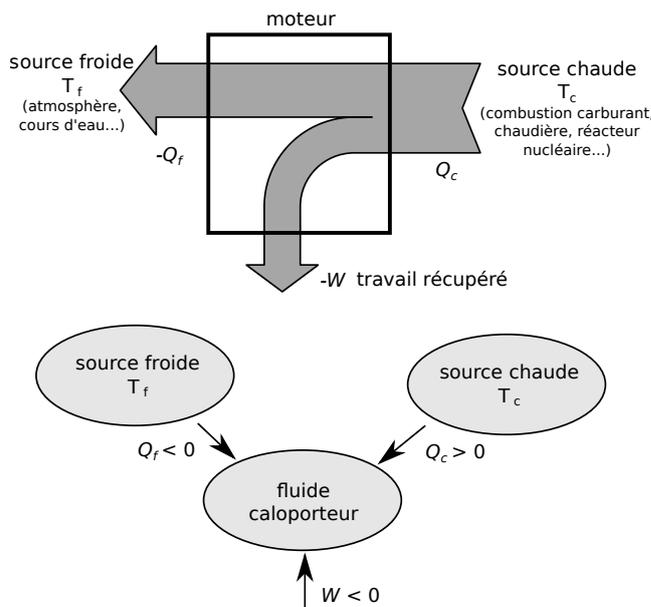
2.1 – Coup de pouce : 2 – Le rendement est $|W|/Q_c$. On peut faire comme pour la démonstration du rendement d'un moteur réversible : premier et second principe sur le cycle.

2.1 – Correction

1.



2. Méthode 1 :



Attention aux signes des différentes quantités et à ce qui est reçu/cédé. On choisit de faire comme d'habitude : W , Q_c , Q_f , etc., sont des travaux ou transferts thermiques **reçu par le fluide** qui circule dans la machine.

On a donc en fait $Q_c > 0$ car le fluide reçoit effectivement du travail de la part de la source chaude, $W < 0$ car en fait le fluide cède du travail au milieu extérieur (car c'est un moteur), et $Q_f < 0$ car le fluide cède de la chaleur à la source froide. Mais ces signes ne changent rien aux écritures des principes : on ne met pas de + ou de - !

★ Rendement $\eta = \frac{W_{\text{produit par turbine}} - W_{\text{consommé par compresseur}}}{Q_c} = \frac{-W}{Q_c}$ avec W le travail fourni au fluide sur un cycle ($W < 0$ car moteur) et Q_c le transfert thermique reçu de la part de la source chaude sur un cycle.

★ Si on applique le premier principe au système fermé {moteur} sur un cycle, on a $0 = W + Q_c + Q_f$. (Q_{23} et Q_{41} n'interviennent pas car ce sont des échanges internes au moteur.)

$$\text{On a donc } \eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}.$$

★ Il faut ensuite utiliser le second principe pour le système fermé {moteur} sur un cycle : $0 = \Delta S = S_e + S_c = \frac{Q_f}{T_1} + \frac{Q_c}{T_3}$ ($S_c = 0$ car hypothèse de réversibilité, et $S_{e,12} = Q_f/T_1$ et $S_{e,34} = Q_c/T_3$ car les étapes 12 et 34 sont isothermes respectivement à T_1 et T_3).

★ On a finalement $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_3}$.

Il s'agit de l'expression du cycle de Carnot réversible entre deux sources à T_1 et T_3 . C'est normal, puisqu'ici on a un modèle de machine ditherme réversible avec des échanges de chaleur ayant lieu de façon isotherme.

Méthode 2 :

Vue la question suivante, ce n'est peut-être pas la méthode attendue. C'est pourtant la plus simple. Présentons toutefois une autre méthode.

$$\star \text{ On repart de } \eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{q_{12}}{q_{34}}.$$

On utilise ici q massique car nous allons faire des calculs sur le système en écoulement turbine ou compresseur.

\star Considérons le système ouvert {compresseur}.

Le premier principe pour un système en écoulement donne $\Delta h = w_{i,12} + q_{12}$, et $\Delta h = c_p \Delta T = 0$. Mais ceci ne permet pas d'avoir q_{12} .

utilisons le second principe : $\Delta s = s_e + s_c$, avec $s_c = 0$ (réversible), $s_e = \frac{q_{12}}{T_1}$, et $\Delta s = \frac{R}{M} \ln \frac{p_2}{p_1}$, expression valable pour un gaz parfait en évolution isotherme (se démontre à partir de $dh = Tds + vdp$ avec $dh = 0$, $v/T = pR/M$).

$$D'où $q_{12} = T_1 \frac{R}{M} \ln \frac{p_2}{p_1}$.$$

$$\star \text{ De même pour la turbine, } q_{34} = T_3 \frac{R}{M} \ln \frac{p_1}{p_2}.$$

$$\star \text{ On a donc } \eta = 1 + \frac{T_1 \frac{R}{M} \ln \frac{p_2}{p_1}}{T_3 \frac{R}{M} \ln \frac{p_1}{p_2}} = 1 - \frac{T_1}{T_3}, \text{ ce qui revient au même que tout à l'heure,}$$

et qui montre au passage que tel qu'il est décrit ici, le fonctionnement du régénérateur est nécessairement réversible.

3. L'entropie créée est nulle car on a supposé le cycle réversible. Ce n'est donc pas surprenant.

En revanche le moteur réel ne fonctionne pas de façon réversible. Il y aura une entropie créée, et le rendement sera inférieur.

4. Avec ces températures on trouve $\eta = 0.69$ et une puissance fournie par la chaudière

$$\mathcal{P}_c = \frac{500 \text{ kW}}{\eta} = 7.3 \times 10^2 \text{ kW}.$$

2.2 TSI CCS, exemples officiels 2017, optique ondulatoire (exp. Fizeau)

2.2 – Coup de pouce : 2 – Exprimer $\Delta t = (\text{temps de parcours bras du haut}) - (\text{temps de parcours bras du bas})$. Puis quel est le lien entre la différence de marche δ et la différence de temps de parcours Δt ? (Faire par exemple le calcul pour un chemin optique (AB) : $(AB) = \dots = c(t_B - t_A)$.)

2.2 – Correction

1. La présence du fluide ne change rien si celui-ci est au repos. Il s'agit donc de l'expérience classique des trous d'Young, avec le montage sans lentille. On utilise le théorème de Pythagore et on fait un développement limité car $D \gg x$ et $D \gg a$.

On doit trouver une différence de marche (rayon du bas) – (rayon du haut) donnée par $\delta = \frac{ax}{D}$.

L'ordre d'interférence est $p = \frac{\delta}{\lambda_0} = \frac{ax}{D\lambda_0}$ (avec λ_0 la longueur d'onde de la radiation dans le vide).

2. \star Le rayon lumineux dans le bras du haut est entraîné par le fluide : dans le référentiel du fluide il se propage à c/n . L'hypothèse H dit que dans le référentiel du laboratoire il se propage à $c/n + u$ car il est "porté" par la matière du fluide. (La vitesse de la lumière est invariante dans le vide, mais ici nous sommes dans un milieu matériel.)

De même, le rayon passant par le bras du bas se propage à $c/n - u$ dans le référentiel du laboratoire.

Le rayon du haut va donc arriver en avance, ce qui va modifier la différence de phase entre les deux rayons une fois qu'ils arrivent sur l'écran.

Il faut raisonner sur les temps de parcours. Le temps de parcours dans le bras du haut est $\Delta t_1 = \frac{L}{c/n + u}$, celui dans le bras du bas est $\Delta t_2 = \frac{L}{c/n - u}$. La différence des deux est, après un développement limité car $u \ll c/n$:

$$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 = \frac{2Ln^2u}{c^2}.$$

\star Enfin, cette différence de temps de parcours va être équivalente à une différence de marche supplémentaire donnée par $\delta = c\Delta t$.

(Par exemple pour un chemin optique (AB) dans un milieu au repos on a

$$(AB) = \int_A^B n(M) dl = \int_A^B n(M) \frac{dl}{dt} dt = \int_A^B n(M) v dt = \int_A^B c dt = c(t_B - t_A).$$

Ici le milieu n'est pas au repos, mais la différence de phase en M est bien donnée par $\frac{2\pi}{\lambda_0} c\Delta t$, formule plus générale que le $\frac{2\pi}{\lambda_0} \delta$ valide pour un milieu au repos seulement.)

On a donc ici une différence de marche associée à la présence du fluide qui est $\delta = c\Delta t = \frac{2Ln^2u}{c}$.

Ce qui correspond à une variation d'ordre d'interférence $\Delta p = \frac{2Ln^2u}{\lambda_0 c} = 0.713$.

Le déplacement des franges sur l'écran est alors de $\Delta x = \Delta p \times \frac{D\lambda_0}{a} = 0.834 \text{ mm}$. Ce n'est pas en accord avec la mesure.

3. On obtient alors $p = p_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2)$, et $\Delta x = \Delta x_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2) = 0.368 \text{ mm}$, ce qui est en accord avec l'expérience.

Remarque : Ce facteur $(1 - 1/n^2)$ est prédit par la loi d'additivité des vitesses relativistes, qui n'est pas $v = c/n + u$ mais $v = \frac{c/n + u}{1 + \frac{(c/n)u}{c^2}}$, et de même $v = \frac{c/n - u}{1 - \frac{(c/n)u}{c^2}}$ pour l'autre bras.

On obtient alors $p = p_{\text{calcul classique}} \times (1 - 1/n^2)$, et ce facteur $(1 - 1/n^2) \simeq 0.44$ n'est pas négligeable.

2.3 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, thermochimie (synthèse méthanol)

2.3 – Coup de pouce : 2 – Tableau d'avancement, puis $K^0 = Q_r = \dots$ 3 – Reprendre $K^0 = Q_r = \dots$ de la question précédente, mais cette fois on connaît p donc on peut calculer $K^0(T)$. Il faut ensuite en déduire T en utilisant la version intégrée de la relation de Van't Hoff.

2.3 – Correction

1. Loi de Hess. $\Delta_r H^0 = -91.0 \text{ kJ/mol}$. C'est négatif donc la réaction est exothermique.
2. Faire un tableau d'avancement avec des proportions stœchiométriques pour les réactifs : n_0 et $2n_0$.

Montrer que l'avancement maximal est $\xi_{\max} = n_0$, et donc que dans l'état final on a $\xi_f = n_0 \rho$.

Écrire le quotient de réaction et montrer qu'à l'équilibre on a $K^0(T) = Q_r$ avec $Q_r = \frac{\rho(3-2\rho)^2}{4(1-\rho)^3} \left(\frac{p^0}{p}\right)^2$.

Isoler p . On trouve $p = 81 \text{ bar}$.

3. On a toujours $K^0(T) = Q_r = \frac{\rho(3-2\rho)^2}{4(1-\rho)^3} \left(\frac{p^0}{p}\right)^2$.

Cette fois p est fixé à 200 bar, on veut $\rho = 0.70$, donc on en déduit $K^0(T) = 4.15 \times 10^{-4}$. Il faut chercher la température T qui correspond. Notons la T_2 . On a donc $K^0(T_2) = 4.15 \times 10^{-4}$

On connaît $K^0(T_1) = 2.5 \times 10^{-3}$ pour $T_1 = 573 \text{ K}$.

On intègre la loi de Van't Hoff, qui est $\frac{d \ln K^0(T)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2}$, en supposant $\Delta_r H^0$ indépendant de T . On obtient

$$\ln K^0(T_2) - \ln K^0(T_1) = \frac{\Delta_r H^0}{R} \left(-\frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1} \right).$$

On isole alors $T_2 = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{R}{\Delta_r H^0} \ln \frac{K^0(T_2)}{K^0(T_1)} \right)^{-1}$, soit $T_2 = 632 \text{ K}$.

4. On exprime ξ_{\max} (qui vaut 1 mol ou n selon que $n > 1$ ou $n < 1$), puis $\xi_f = \rho \xi_{\max}$. On écrit $K^0 = Q_r = \dots$ et on résout numériquement pour trouver ρ pour chaque valeur de n .

Enfin, pour chaque valeur de ρ on calcule $x = \frac{n_{\text{CH}_3\text{OH}}}{n_{\text{CH}_3\text{OH}} + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2}}$ à l'aide du tableau d'avancement.

5. L'objectif est de maximiser la quantité de matière $n_{\text{CH}_3\text{OH}}$ produite pour une quantité n_{H_2} donnée. C'est donc ξ_f qu'il faut maximiser.

Le graphique présente deux grandeurs :

- Le rendement $\rho = \xi_f / \xi_{\max}$ avec $\xi_f = n_{\text{CH}_3\text{OH}}$ et ξ_{\max} qui vaut 1 mol ou n mol selon que $n > 1$ ou $n < 1$.

Donc si $n > 1$, on a $n_{\text{CH}_3\text{OH}} = \rho$ (en mole), et si $n < 1$ on a $n_{\text{CH}_3\text{OH}} = \rho \times n < \rho$.

La courbe de rendement est donc maximale là où $n_{\text{CH}_3\text{OH}}$ est maximal, ce qui est ce qui nous intéresse.

- La fraction $x_{\text{CH}_3\text{OH}} = n_{\text{CH}_3\text{OH}} / (n_{\text{CH}_3\text{OH}} + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2})$.

$x_{\text{CH}_3\text{OH}}$ décroît lorsque n est grand simplement parce que à son dénominateur le terme n_{CO} augmente, mais ce n'est pas important car CO ne "coûte pas cher".

En conclusion, c'est le rendement qu'il faut considérer, et la valeur optimale est donc pour $n = 4$.

2.4 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, induction et magnétostatique (pince ampèremétrique)

2.4 – Correction

1. Pour 1 et 2 voir correction du DM 16, question 1. La différence est que dans le DM on calcule directement le champ B produit par la bobine + le fil central.

2.

3. Le flux total du champ magnétique à travers le circuit 2 est :

$$\Phi_{\text{tot} \rightarrow 2} = \Phi_{1 \rightarrow 2} + \Phi_{2 \rightarrow 2} = Mi_1 + Li_2.$$

4.

Ici le flux total du champ magnétique à travers le circuit de la bobine est donc

$$\Phi_{\text{tot} \rightarrow \text{bobine}} = MI(t) + Li(t).$$

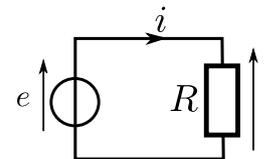
On fait un circuit électrique équivalent de la bobine.

$$\text{La fem est } e = -\frac{d\Phi_{\text{tot} \rightarrow \text{bobine}}}{dt} = -M\frac{dI}{dt} - L\frac{di}{dt}.$$

$$\text{La loi des mailles donne donc } ri(t) = -M\frac{dI}{dt} - L\frac{di}{dt}.$$

On utilise les notations complexes : $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$ devient $\underline{I}(t) = I_0 \exp\{j\omega t\}$.

$$\text{On a donc } r\underline{i} = -Mj\omega\underline{I} - Lj\omega\underline{i}, \text{ soit } \underline{\frac{i}{I}} = \frac{-Mj\omega}{R + Lj\omega}.$$



5. Lorsque $L\omega \gg R$, on a $\left| \frac{i}{I} \right| = \frac{M\omega}{L\omega} = \frac{1}{N}$.

Hautes fréquences signifie ici que $L\omega \gg R$, soit $\omega \gg \frac{R}{L}$, soit $f \gg \frac{R}{2\pi L} = 0.24 \text{ Hz}$.

Ceci est largement réalisé pour une mesure sur du 50 Hz, et on a alors une simple relation de proportionnalité entre le courant I à mesurer et le courant i parcourant la bobine de la pince. On mesure facilement ce dernier avec un ampèremètre intégré à la pince.

L'avantage de cet appareil pour la mesure de forts courants et que, contrairement à un ampèremètre classique, il ne nécessite pas de couper le circuit. De plus, il transforme les forts courants en courants plus faibles et moins exigeants pour l'électronique (division par N du courant I).

2.5 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, électronique

2.5 – Coup de pouce : Lire le programme python : il contient la réponse à la question 2. On remarque toutefois que la valeur de L que l'on trouve en 2 ne correspond pas à celle du programme... Enfin, pas besoin de calculer à la calculatrice les valeurs de ω_0 ou autre, c'est fait dans le programme, il suffit d'afficher les résultats.

2.5 – Correction

1. Attention aux problèmes de masse. C'est le générateur qui impose la masse : elle est à sa borne négative. La masse de CH1 et CH2 de l'oscilloscope est donc là également.

2. On utilise la mesure à tension constante pour déterminer r . La bobine est alors un fil. On a $u_{R_0} = E \times \frac{R_0}{R_0 + r}$, et donc $u_{R_0} = E/2$ précisément pour $R_0 = r$. On a donc $r = 2 \text{ ohm}$.

Pour déterminer L on utilise la mesure à $f = 1 \text{ kHz}$. On est en régime sinusoïdal forcé donc on utilise la notation complexe. On montre que $|u_{R_0}| = |e| \times \frac{R_0}{\sqrt{(r + R_0)^2 + (L\omega)^2}}$. On connaît tout sauf L , que l'on isole. En particulier on mesure sur la figure 1 le rapport $|u_{R_0}|/|e| = 2/3.6$. On trouve $L = 2.1 \times 10^{-3} \text{ H}$.

3. ★ Le protocole suppose que le générateur de tension est idéal. Or il possède en réalité une résistance de sortie R_s de l'ordre de 50Ω , qui vient se mettre en série avec le reste du montage, et qui n'est pas du tout petite devant les deux Ohms mesurés. Cependant en refaisant le schéma on se rend compte que les résultats précédents sont inchangés, car la tension mesurée à l'oscilloscope est celle aux bornes de r , R_0 et L seulement, et n'inclus pas la chute de tension aux bornes de R_s (en revanche il ne faudrait pas se fier à la tension indiquée sur le GBF).

★ Plus simplement, pour mesurer r on peut utiliser un ohmmètre sur la bobine.

★ Enfin, on peut objecter que la mesure de r est faite en régime continu, et que la résistance d'une bobine varie avec la fréquence (elle peut augmenter d'un facteur 10 ou plus). Il faudrait donc trouver un protocole où la mesure de r se fait à 1 kHz également. On peut imaginer exploiter le module et le déphasage entre les deux courbes de la figure 1 pour avoir deux équations et en déduire r et L simultanément.

4. Les A.N. donnent $\omega_0 = 3.9 \times 10^4 \text{ rad/s}$, $f_0 = 6.2 \text{ kHz}$, $H_0 = 0.67$, $Q = 0.15$.

Sur le graphique on voit une partie quasi-horizontale à basses fréquences, une cassure et une droite de pente -20 dB/dec , une cassure puis une pente de -40 dB/dec . C'est normal pour un filtre passe-bas d'ordre 2 avec $Q < 0.5$ car la fonction de transfert se factorise en
$$\frac{H_0}{(1 + j\omega/\omega_1)(1 + j\omega/\omega_2)}$$

5. On constate que le filtre coupe bien les hautes fréquences.

2.6 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, optique (identification source)

2.6 – Coup de pouce : Ne pas hésiter à lire le programme, qui contient les réponses. Reste à les justifier.

2.6 – Correction

1. Cours.

2. Ne pas hésiter à lire le programme, il contient les réponses !

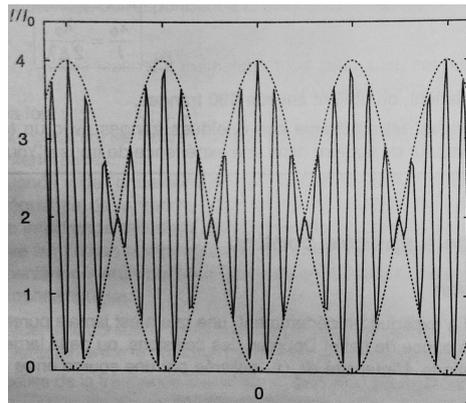
Faire les mesures sur les figures produites par `trace`, plus précises.

Filtres 1 et 3 : facile, une seule longueur d'onde.

Filtre 2 : il s'agit d'un doublet. Il faut établir l'expression théorique de l'intensité en sommant l'intensité produite par chacune des deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . Utiliser $\cos p + \cos q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$. L'intensité se met alors sous la forme

$$I(M) = 4I_0 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi \Delta\lambda ax}{\bar{\lambda} 2\bar{\lambda} D}\right) \cos\left(\frac{2\pi ax}{\bar{\lambda} D}\right) \right],$$

avec $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ et $\bar{\lambda}$ la moyenne de λ_1 et λ_2 . Comme ces deux longueurs d'onde sont proches, on utilisera $\lambda_1\lambda_2 \simeq \bar{\lambda}^2$ et $\lambda_1 + \lambda_2 \simeq 2\bar{\lambda}$. Le tracé de la fonction $I_{\lambda_1}(x) + I_{\lambda_2}(x)$ est représenté ci-dessous.



Remarques sur le code du programme : La figure produite par `enregistrement(2)` reproduit les oscillations de façon erronée à cause d'un effet de sous-échantillonnage. Pour les avoir correctement il faut diminuer le paramètre `lim` (on visualise sur la figure de $x = -\text{lim}$ à $x = +\text{lim}$) à des valeurs similaires à celles des enregistrements 1 et 3. C'est un peu dommage... D'autre part, la longueur d'onde à 745 nm du tableau `sources` n'est utilisée nulle part. Est-ce un leurre ?

2.7 ► TSI CCS, exemples officiels 2017, chimie (autour du mercure)

2.7 – Coup de pouce : 4 – C'est une réaction acide-base. Écrire l'équation de la réaction. 6 – Il faudrait exprimer le potentiel E de la solution, et voir s'il s'exprime en fonction de l'avancement x de la réaction (faire tableau d'avancement, puis formule de Nerst).

2.7 – Correction

1. Configuration électronique : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10}$.

En lisant la suite du sujet on voit que les degrés d'oxydation les plus stables sont $+I$ et $+II$.

Au degré $+II$, la configuration électronique est $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^0 4f^{14} 5d^{10}$ (c'est la $6s$ qui a l'énergie la plus haute et qui se dépeuple d'abord), qui est une configuration relativement stable car toutes les sous-couches sont pleines.

(Rq : c'est complètement hors-programme...)

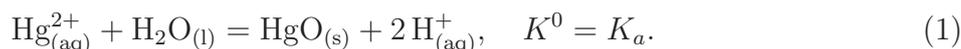
2. Déterminer les n.o.

Puis $A : \text{Hg}_{(\text{aq})}^{2+}$, $B : \text{Hg}_2^{2+}$, $C : \text{Hg}_{(\text{l})}$, $D : \text{HgO}_{(\text{s})}$.

3. Il faut écrire les demi-équations et les formules de Nerst.

4. Question mal posée, ces deux espèces sont un couple acide-base et ne réagissent certainement pas entre elles.

On parle en fait de la réaction :



(Ou alors en milieu basique, équilibrée avec HO^- : $\text{Hg}_{(\text{aq})}^{2+} + 2\text{HO}_{(\text{aq})}^- = \text{HgO}_{(\text{s})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$, mais on va se concentrer sur l'autre réaction.)

On a à l'équilibre $K_a = Q_r = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{Hg}^{2+}]}$, soit en prenant le log : $-pK_a = -2pH - \log[\text{Hg}^{2+}]$, soit encore $pK_a = 2pH + \log C_{\text{tracé}} = 2$.

5. Écrire la demi-équation et la formule de Nerst.

6. Tableau d'avancement en concentration :

| | | | | |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | $2\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ | $+ 2\text{Hg}_{(\text{aq})}^{2+}$ | $= \text{Hg}_2^{2+}_{(\text{aq})}$ | $+ 2\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$ |
| <i>E.I.</i> | C_0 | C_1 | 0 | 0 |
| avancement x | $C_0 - 2x$ | $C_1 - 2x$ | x | $2x$ |

L'écriture des demi-équations montre que : $E = E^0 + 0.03 \log \frac{[\text{Hg}^{2+}]^2}{[\text{Hg}_2^{2+}]}$ et $E = E^0 + 0.06 \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} = E^0 + 0.06 \log \frac{2x}{C_0 - 2x}$. Cette dernière équation peut s'inverser et montre que par un suivi potentiométrique (donc mesure de E) on peut en déduire l'avancement x de la réaction.

7. ★ Expérience 1 :

On a initialement égalité des concentrations des réactifs : $C_0 = C_1$. On a donc, d'après le tableau d'avancement, pour tout t ultérieur : $[\text{Fe}^{2+}](t) = [\text{Hg}_2^{2+}](t)$.

On a donc $v = k [\text{Hg}_2^{2+}]^{p+q}$.

On sait par ailleurs que $\frac{d[\text{Hg}_2^{2+}]}{dt} = -2v$.

On a donc l'équation $\frac{d[\text{Hg}_2^{2+}]}{dt} = -2k [\text{Hg}_2^{2+}]^{p+q}$. Il faut ensuite faire des hypothèses sur $p+q$, voir les conséquences théoriques, et les tester avec les données :

- Si $p + q = 0$ alors $\frac{d[\text{Hg}^{2+}]}{dt} = \text{cst}$, ce qui n'est pas le cas car la pente sur la figure 1 varie.
- Si $p + q = 1$ alors $[\text{Hg}^{2+}](t)$ est une exponentielle décroissante. On trace donc avec le programme $\ln [\text{Hg}^{2+}]$ en fonction de t , qui devrait être une droite. Ce n'est pas le cas, il ne s'agit donc pas d'un ordre 1.
- Si $p + q = 2$ alors l'intégration de l'équation montre que $\frac{1}{[\text{Hg}^{2+}](t)} = A + 2kt$. On trace donc avec le programme $\frac{1}{[\text{Hg}^{2+}](t)}$ en fonction de t , ce qui devrait donner une droite. C'est le cas, et on a donc un ordre global $p + q = 2$.

★ Expérience 2 :

La concentration en fer II est très supérieure à celle en ion mercure, et on peut donc supposer $[\text{Fe}^{2+}] = \text{cst}$ tout au long de la réaction.

On a donc $v = k'[\text{Hg}^{2+}]^q$. Or $\frac{d[\text{Hg}^{2+}]}{dt} = -2v$, donc on a l'équation $\frac{d[\text{Hg}^{2+}]}{dt} = -2k'[\text{Hg}^{2+}]^q$.

On procède comme pour l'expérience 1. On trouve cette fois que $q = 1$.

★ On en déduit que $p = 1$.