

Semaine 1 du 26/05/25 au 28/05/25

Révisions de Sup : électrocinétique, mécanique Sup, induction, thermodynamique Sup, chimie des solutions, structure de la matière

Lundi 26/05/25 et Mardi 27/05/25

Electrocinétique :

S1ex1 : CCINP 2024 MP – Raphaël Bégué - Filtrage

On étudie le filtre ci-contre réalisé avec

$$R = R_C = 10 \, \Omega \text{ et } C = 10 \, \text{mF}.$$

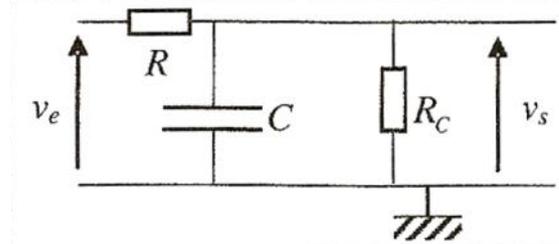
On considère le signal périodique de fréquence 50 Hz défini par :

$$v_e(t) = 0 \text{ pour } t \in [-T/2, 0]$$

$$v_e(t) = E \cdot \sin(2\pi t/T) \text{ pour } t \in [0, T/2]$$

Ce signal d'entrée est décomposable en série de Fourier sous la forme :

$$v_e(t) = \frac{E}{\pi} \left[1 + \frac{1}{2} \sin(\omega t) - \frac{2}{3} \cos(2\omega t) + \dots - \frac{2}{n^2-1} \cos(n\omega t) + \dots \right].$$



- 1) De quel type de filtre s'agit-il ? Exprimer et calculer numériquement ses caractéristiques.
- 2) Déterminer le spectre du signal de sortie de ce filtre quand on y fait passer le signal d'entrée $v_e(t)$.
- 3) On définit le taux d'ondulation τ par le rapport entre l'amplitude de la partie variable du signal sur la valeur moyenne du signal.
 - a) Justifier qu'on peut approximer l'amplitude de la partie variable à celle du fondamental.
 - b) Calculer alors le taux d'ondulation.
 - c) Tracer la tension d'entrée et la tension de sortie en fonction du temps.

S1ex2 : CCINP MP 2024 – Robin Audebert – Régime transitoire

On étudie le circuit ci-contre.

La tension d'entrée est :

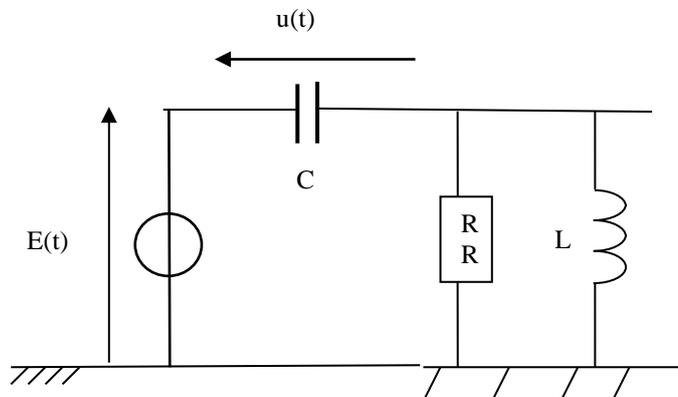
$$E(t) = \begin{cases} E & \text{si } t > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- 1) Etablir l'équation différentielle vérifiée par $u(t)$.
- 2) Etablir à l'aide de circuits équivalents que :

$$u(0^+) = 0$$

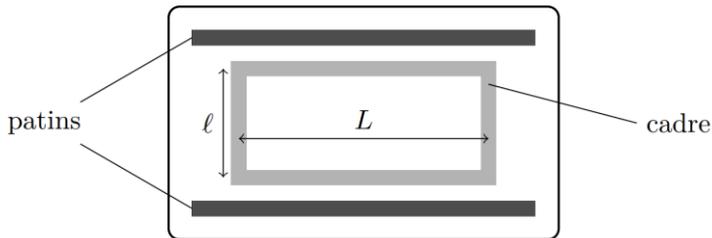
$$\frac{du}{dt}(0^+) = \frac{E}{RC}$$

- 3) Résoudre l'équation différentielle en menant une discussion sur le facteur de qualité Q . (Rem : J'ai dû redémontrer la forme des solutions en fonction des valeurs de Q avec le discriminant de l'équation caractéristique).
- 4) On considère $Q > 0,5$, tracer la solution. (Tracé demandé dans l'espace des phases mais c'est hors programme).



Induction :**S1ex3 : Centrale Physique-Chimie 1 2022 – François Deleu****Freinage du Skeleton**

Le skeleton est un sport d'hiver qui se pratique dans un couloir de glace en pente : le coureur s'allonge sur une planche qui glisse sur la glace en prenant appui sur des patins. L'ensemble coureur + skeleton est assimilé à un solide de masse $m = 100 \text{ kg}$ pouvant glisser sans frottement. Il franchit la ligne d'arrivée avec une vitesse $v_0 = 30 \text{ m.s}^{-1}$. On étudie ici le freinage du skeleton par induction. On fixe sous la planche un cadre métallique conducteur ayant la forme d'un rectangle de côtés $l \times L$.



La piste de décélération est horizontale ; on considérera un référentiel (Oxyz) galiléen lié au sol : l'origine O est prise au point d'arrivée, l'axe Ox le long de la piste de décélération (qui correspond donc à $x > 0$), l'axe Oy selon la verticale ascendante. Un dispositif adéquat crée un champ magnétique $\vec{B} = B_0 \vec{e}_y$ stationnaire et uniforme sur toute ou partie de la longueur de piste de décélération (et sur toute la largeur de la piste). La position du cadre est repérée par l'abscisse x de son extrémité avant et on suppose $x = 0$ à $t = 0$.

- 1) Justifier qualitativement qu'il y aura freinage par induction.
- 2) Le champ magnétique est étendu à toute la zone $x > 0$.
 - a) Établir l'équation différentielle à laquelle obéit la vitesse $v = dx/dt$; on distinguera deux phases dans le mouvement. Mettre en évidence un temps caractéristique τ que l'on exprimera en fonction de B_0 , m , l et R (la résistance du cadre).
 - b) Déterminer $x(t)$ pendant la phase de décélération et montrer que l'engin ne stoppe qu'à condition que L soit supérieure à une certaine valeur que l'on précisera. Montrer par une application numérique que ceci n'est pas réalisé et déterminer la vitesse finale du skeleton.

On donne : $l = 30 \text{ cm}$, $L = 50 \text{ cm}$, $B = 1,0 \text{ T}$ et $R = 1,0 \times 10^{-2} \Omega$.

- 3) On suppose à présent que le champ magnétique (stationnaire et uniforme) n'est non nul que dans la zone comprise entre $x = 0$ et $x = d$
 - a) Si $L < d$, montrer qualitativement qu'il existe deux phases de freinage séparées par une phase où la vitesse reste constante.
 - b) Même question si $L > d$.
 - c) Quelle valeur doit-on donner à d , en fonction de L , pour optimiser le freinage ? Déterminer dans ce cas la vitesse à l'issue des deux phases de freinage.
- 4) On place N zones de freinage identiques à la précédente séparées les unes des autres d'une distance D . Quelle doit être la distance D pour encore une fois optimiser le freinage ?

Quelle valeur donner à N pour stopper le skeleton ?

Mécanique :**S1ex4 : Mines Télécom Ex2 Chute d'un arbre**

On étudie la chute d'un arbre de hauteur L et de masse m . L'arbre est scié à sa base à l'instant $t=0$ alors qu'il forme un angle θ_0 avec la verticale (Il tombe donc à partir de cet instant avec une vitesse initiale nulle). Son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation vaut $I = \frac{1}{3}mL^2$.

1) Déterminer l'équation différentielle du mouvement de l'arbre.

2) Montrer qu'à l'angle θ , la vitesse angulaire vaut : $\dot{\theta} = \sqrt{\frac{3g}{L}(\cos(\theta_0) - \cos(\theta))}$

En déduire que cette relation peut s'écrire sous la forme : $\frac{d\theta}{\sqrt{(\cos(\theta_0) - \cos(\theta))}} = \sqrt{\frac{3g}{L}} dt$

3) En déduire le temps final de la chute de l'arbre. Proposer une application numérique.

On donne : $\int_{\theta_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{(\cos(\theta_0) - \cos(\theta))}} = 5.1$

**S1ex5 : Centrale Physique-Chimie 1 – Raphaël Bégué
Avance du périastre**

On étudie le mouvement d'un satellite de masse m en rotation autour d'un astre central de masse M et de rayon R . On note a le demi-grand axe du satellite, r sa distance au corps central, et e son excentricité supposée faible ($e \ll 1$).

1) Si on suppose l'astre à symétrie sphérique, établir l'expression du champ gravitationnel $\vec{g}(r)$ de cet astre pour $r > R$. En déduire le potentiel gravitationnel ϕ_0 associé.

La conservation du moment cinétique permet de montrer que $\vec{a} \cdot \vec{u}_r = -\frac{C^2}{r^2} \left[\frac{d^2}{d\theta^2} \left(\frac{1}{r} \right) + \frac{1}{r} \right]$ avec C la constante des aires et \vec{a} l'accélération du satellite.

1) Montrer que r peut s'exprimer sous la forme $r(\theta) = \frac{p}{1+e \cdot \cos(\theta)}$. Exprimer p en fonction de M , C la constante des aires et G la constante de gravitation universelle. Exprimer aussi p en fonction de a et e .

Sous l'effet de sa rotation, l'astre central est légèrement aplati aux pôles. En conséquence, le potentiel gravitationnel pour un satellite évoluant dans le plan équatorial est donné par $\phi = \phi_0 - \gamma \frac{GM R^2}{r^3}$

où γ est une constante $\gamma \ll 1$ qui caractérise l'aplatissement.

2) On cherche $r(\theta)$ sous la forme $r(\theta) = \frac{q}{1+e \cdot \cos((1+\varepsilon)\theta)}$ avec ε une constante très petite devant 1.

Exprimer ε et q en fonction de γ , R et p puis en fonction de a , e , R et γ .

3) Quelle est alors l'allure de la trajectoire ? Exprimer l'avance du périastre de la trajectoire, c'est-à-dire l'angle dont les axes de l'ellipse ont tourné après une révolution du satellite.

4) Calculer l'avance du périhélie de Mercure ($a=0,387$ UA = 58.10^6 km, $T = 88$ jours) autour du Soleil ($R = 696000$ km, $\gamma = 10^{-5}$).

La précession observée du périhélie de Mercure s'élève en fait à $43''$ /siècle. Commenter.

Chimie :**S1ex8 : CCINP Ex 2 : Structures chimiques**

- 1) Ecrire les configurations électroniques de O ($Z=8$), S ($Z=16$).
- 2) Placer ces éléments dans le tableau périodique.
- 3) Ecrire la réaction de première ionisation de S ou O et expliquer comment l'énergie d'ionisation varie dans la classification périodique.
- 4) On suppose qu'une structure possible du sulfure d'argent est la structure ionique suivante : Le soufre forme une structure cubique faces centrées et l'argent occupe tous les sites tétraédriques. Quelle serait la population en S et Ag de cette maille ? En déduire la formule du sulfure d'argent.
- 5) On donne la masse volumique du sulfure d'argent $\rho = 7,23 \text{ g.cm}^{-3}$ et les masses molaires $M(\text{S})=32,1 \text{ g.mol}^{-1}$ et $M(\text{Ag})=107,9 \text{ g.mol}^{-1}$. En déduire le paramètre de la maille du sulfure d'argent.

S1ex9 : Mines-Télécom Ex 1 Le trioxyde de tungstène

Le trioxyde de tungstène WO_3 solide présente une structure cubique où les ions tungstène W^{6+} sont placés sur les sommets du cube et les ions oxyde O^{2-} sur les milieux des arêtes. On appelle a le paramètre de maille.

- 1) a) Dessiner la maille et vérifier la stœchiométrie du trioxyde de tungstène.
b) On admet une tangence anion-cation. Calculer la compacité de la maille. Commenter.
- 2) a) Un cation M^+ peut se placer sur les centres des faces du cube, ou bien au centre du cube. Quel est le rayon maximal que peut prendre M^+ dans chaque cas sans modifier la structure de la maille ?
b) On observe expérimentalement que les cations M^+ avec $M = \text{H, Li, Na, K}$ peuvent s'insérer dans le cristal et qu'ils s'insèrent tous dans le même type de site. En déduire le type de site occupé.

Données : Rayons ioniques (pm) : $\text{H}^+ : 10^{-2}$; $\text{Li}^+ : 78$; $\text{Na}^+ : 98$; $\text{K}^+ : 133$; $\text{O}^{2-} : 132$; $\text{W}^{6+} : 62$.

S1ex10 : CCINP – Alice Lefebvre 2022 et Lilou Tisserand 2021 - Fermentation malolactique des vins

Le vin est une boisson acide dont le pH est compris entre 2,70 et 3,70. Le vin contient naturellement de nombreux acides faibles (certains sont présents dans le raisin et d'autres apparaissent au cours de l'élaboration du vin) dont six organiques sont les plus abondants :

- l'acide tartrique $\text{HOOC}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ de pK_a 3,04 et 4,34 et de masse molaire $150 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- l'acide malique $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ de pK_a 3,46 et 5,14 et de masse molaire $134 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- l'acide citrique $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})(\text{COOH})-\text{CH}_2-\text{COOH}$ de pK_a 3,15, 4,71 et 6,41 et de masse molaire $192 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- l'acide lactique $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ de pK_a 3,90 et de masse molaire $90,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- l'acide succinique $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ de pK_a 4,16 et 5,61 et de masse molaire $118 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- l'acide acétique CH_3-COOH de pK_a 4,80 et de masse molaire $60,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Le contrôle des acides présents dans un vin est très important car ces acides conditionnent les qualités gustatives du vin, le pH quant à lui agit sur la stabilité du vin. On peut lire dans un traité d'œnologie : « *l'acidité renforce et soutient les arômes en apportant au vin du corps et de la fraîcheur tout en aidant à son vieillissement. Un excès d'acidité donne un vin trop nerveux, souvent maigre ; alors qu'une carence en acidité donne un vin mou, de faible qualité* ».

On étudie un vin rouge (Bordeaux Supérieur 2002) dont l'analyse fait apparaître les données suivantes :

acide tartrique	$2,24 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acide malique	$0,05 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acide citrique	$0,08 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acide lactique	$1,90 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acide succinique	$1,04 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acide acétique	$0,03 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
acidité totale	$5,20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$

On constate une faible concentration en acide malique alors qu'il est très présent dans le raisin (sa concentration y est supérieure à $3,00 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), ceci est dû à la fermentation malolactique, découverte dans les années 1960, qui est une transformation quasi-intégrale de l'acide malique $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ (noté H_2M) en acide lactique $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ (noté HL) avec dégagement de dioxyde de carbone CO_2 . Cette fermentation diminue l'acidité du vin et améliore ses qualités gustatives (de nouveaux arômes apparaissent et d'autres s'atténuent) ; de plus elle renforce sa couleur rouge. Mais si un vin est mis en bouteille alors que la fermentation malolactique n'est pas achevée, on ressent à la dégustation un certain pétilllement et quelques bulles peuvent apparaître dans le verre, peu après l'ouverture de la bouteille. Avant de procéder à la mise en bouteille d'un vin, il est donc nécessaire de connaître le stade de cette fermentation. On s'intéresse à cette réaction chimique ainsi qu'à sa cinétique.

En regard des pK_a des différents acides présents dans le vin (liste non exhaustive) on peut voir que le vin est un système acido-basique complexe qui agit comme un système tampon puisque son pH est voisin des pK_a des principaux acides qui le constituent. On se propose d'étudier la variation du pH au cours de la fermentation malolactique ; pour ce faire, on modélise le vin comme une solution aqueuse S contenant $2,24 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide tartrique (noté H_2T) et $3,10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide malique (noté H_2M), dont le pH a été fixé à la valeur 3 par ajout d'une base forte concentrée.

Acidité et fermentation

- 1) Tracer les diagrammes de prédominance des différentes espèces présentes en solution.
- 2) Déterminer la composition de la solution S , c'est-à-dire la concentration des trois espèces associées à l'acide tartrique, H_2T , HT^- et T^{2-} ainsi que celle des 3 espèces associées à l'acide malique H_2M , HM^- et M^{2-} que l'on exprimera en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- 3) Ecrire l'équation bilan de la fermentation de l'acide malique en acide lactique avec émission de dioxyde de carbone.
- 4) A la fin de la fermentation, il ne reste plus que $0,05 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide malique. En déduire comment évolue le pH au cours de cette réaction.
- 5) Quelle peut être la cause chimique des faits observés lors de l'ouverture d'une bouteille contenant un vin dont la fermentation malolactique n'était pas terminée à la mise en bouteille ?

Durée de la fermentation

On suppose que la fermentation malolactique a une cinétique d'ordre 1 de constante de vitesse $k_v = 1,34 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

- 6) Donner l'expression de $[\text{H}_2\text{M}](t)$.
- 7) Exprimer puis calculer le temps de demi-réaction.
- 8) Combien de temps a duré la fermentation malolactique du vin étudié ?

Réponses :**S1ex1 : CCINP 2024 MP – Raphaël Bégué - Filtrage**

- 1) C'est un filtre passe-bas du premier ordre de fonction de transfert $\underline{H} = \frac{H_0}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}$ avec $H_0 = \frac{R_c}{R+R_c} = 0,5$ et $\omega_c = \frac{R+R_c}{RCR_c} = 20 \text{ rad.s}^{-1}$
- 2) $f = 50 \text{ Hz} \gg f_c = 3 \text{ Hz}$ donc $v_s(t) \approx H_0 \frac{E}{\pi}$. Le spectre ne contient quasiment que la composante continue de fréquence nulle.
- 3) a) Le fondamental et les harmoniques suivants sont sur la pente de -20dB/décade du filtre donc les harmoniques d'ordre $n > 1$ sont négligeables devant le fondamental.
b) L'amplitude du fondamental de la sortie est $\frac{E}{2\pi} \frac{H_0}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^2}}$ d'où $\tau = \frac{1}{2\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^2}} = 0,032$

S1ex2 : CCINP MP 2024 – Robin Audebert – Régime transitoire

$$1) \frac{d^2u}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{du}{dt} + \frac{1}{LC} u = \frac{E}{LC}$$

S1ex3 : Centrale Physique-Chimie 1 2022 – François Deleu - Freinage du Skeleton

- 1) Appliquer la loi de Lenz
- 2) a) $\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = 0$ avec $\tau = \frac{Rm}{l^2 B_0^2}$ si $x < L$; Si $x > L$ $\frac{dv}{dt} = 0$ b) Vitesse en fin de décélération : $v_f = v_0 - L/\tau = 29,9 \text{ m.s}^{-1}$.
- 3) Le freinage s'effectue tant que le flux de B varie dans le cadre. Pour optimiser le freinage il faut donc choisir $L = d$.
A l'issue de la 2^e phase de freinage $v_{f2} = v_0 - 2L/\tau$.
- 4) On appelle zone de freinage une région telle que pour $0 < x < L$ le champ magnétique est non nul, puis pour $L < x < 2L$ le champ magnétique est nul. La distance D entre 2 zones de freinage successives doit donc être nulle, afin que le freinage se déroule de manière continue. Pour stopper le skeleton il faut $v_f = 0$ après N zones de freinage, d'où $N = v_0 \square / 2L = 334$.

S1ex4 : Mines Télécom Ex 2 Chute d'un arbre

- 1) $I\ddot{\theta} = \frac{L}{2} m g \sin(\theta)$
- 2) On multiplie par $\dot{\theta}$ et on intègre.
- 3) $t_{chute} = \sqrt{\frac{L}{3g} \int_{\theta_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{\cos(\theta_0) - \cos(\theta)}}} = 3 \text{ s}$

S1ex5 : Centrale Physique-Chimie 1 – Raphaël Bégué – Avance du périastre

- 1) $\phi_0 = -\frac{GM}{r}$
- 2) Par la seconde loi de Newton, $p = \frac{c^2}{GM}$. Ecrire que $2a = p_{min} + p_{max}$, on en déduit $p = a(1 - e^2)$.
- 3) Injecter la solution dans la seconde loi de Newton. On identifie (avec quelques approximations à justifier) : $q \approx p = a(1 - e^2)$ et $\varepsilon \approx -\frac{3\gamma R^2}{p^2} \approx -\frac{3\gamma R^2}{a^2}$
- 4) $\Delta\theta = 6\pi\gamma \frac{R^2}{a^2}$
- 5) $\Delta\theta = 0,0056''$ par révolution soit 2,3'' par siècle. Le résultat expérimental de 43'' par siècle a été retrouvé par la relativité générale.

S1ex6 : CCINP (Jules Dany 2019) Ex 2 : Etude d'une pompe à chaleur

- 1) Sens trigonométrique. 1-2 dans le compresseur (compression isentropique ici), 2-3 dans le condenseur, 3-4 dans le détendeur (détente isenthalpique ici), 4-1 dans l'évaporateur
- 2) $\Delta h_{1,2} = 40 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $\Delta h_{2,3} = -195 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $\Delta h_{3,4} = 0 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $\Delta h_{4,1} = 155 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- 3) $q_c = -195 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $q_f = 155 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- 4) $COP = \frac{q_c}{w} = \frac{q_c}{-q_c - q_f} = 4,88$
- 5) $D_m = \frac{p}{-q_c} = 0,041 \text{ kg.s}^{-1}$

S1ex7 : Mines-Ponts

$$\text{Application 1 : } S_{crée} = mC_m \left[\frac{T_f}{T_i} - 1 + \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) \right] = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ J.K}^{-1}$$

Application 2 : Après calcul $S_{crée} = 0$, logique car transformation lente et équilibre thermique avec le milieu extérieur.

S1ex8 : CCINP Ex 2 Structures chimiques

- 1) O $1s^2 2s^2 2p^4$ S $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
- 2) O ligne 2 colonne 16 S ligne 3 colonne 16
- 3) $S = S^+ + e^-$. L'énergie d'ionisation augmente de gauche à droite et de bas en haut.
- 4) Populations $N_S = 4$, $N_{Ag} = 8$.
- 5) $a = \left(\frac{N_{Ap}}{4M_S + 8M_{Ag}} \right)^{-1/3} = 6,11 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

S1ex9 : Mines-Télécom Ex 1 Le trioxyde de tungstène

- 1) a) Populations $N_{W_6^+} = 1$ et $N_{O_2} = 3$ d'où la stœchiométrie W_2O_3 .
b) $a = 2.R_{W_6^+} + 2.R_{O_2} = 388 \text{ pm}$ d'où la compacité $= \frac{\frac{2}{3}\pi R_{W_6^+}^3 + 3 \cdot \frac{4}{3}\pi R_{O_2}^3}{a^3} = 0,51 < 0,74$. Donc ce n'est pas une structure compacte.
- 2) a) Si le cation est au centre d'une face, $2.R_{M^+} + 2.R_{O_2} \leq a$ donc $R_{M^+} \leq 62 \text{ pm}$
Si le cation est au centre du cube, $2.R_{M^+} + 2.R_{O_2} \leq a\sqrt{2}$ donc $R_{M^+} \leq 142 \text{ pm}$

b) Ces cations sont trop gros pour s'insérer au centre d'une face, par contre ils peuvent tous s'insérer au centre du cube.

S1ex10 : CCINP 2022 et 2021 Fermentation malolactique des vins

- 2) A pH=3, on écrit la conservation de la matière en T (ou M) et les constantes d'acidité.
 $[H_2T] = 7,65 \text{ mmol.L}^{-1}$; $[HT^-] = 6,96 \text{ mmol.L}^{-1}$; $[T^{2-}] = 0,32 \text{ mmol.L}^{-1}$; $[H_2M] = 17,1 \text{ mmol.L}^{-1}$; $[HM^-] = 5,95 \text{ mmol.L}^{-1}$; $[M^{2-}] = 0,0431 \text{ mmol.L}^{-1}$
- 4) Le pH augmente car ...
- 5) C'est le CO_2 qui repasse à l'état gazeux lorsque la pression diminue.
- 6) $[H_2M](t) = [H_2M]_0 e^{-k_v t}$
- 7) $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k_v} = 6 \text{ jours}$
- 8) La fermentation est finie à 98,4% donc il reste 1,6% de la quantité initiale d'acide malique donc $t_f = -\frac{\ln(1,6 \cdot 10^{-2})}{k_v} = 36 \text{ jours}$