

Devoir Surveillé de Physique n°3

Thème : Filtrage, cinétique chimique, éléments et molécules. Durée : 4h

Consignes :

- L'usage de la calculatrice est interdit.
- Les expressions littérales seront **encadrées**, et les applications numériques **soulignées**. **Une application numérique sans unité sera considérée fautive. De même, elle sera comptée fautive si elle est laissée sous la forme d'une fraction.**
- Si vous constatez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, indiquez le sur votre copie. Vérifiez tout de même que l'erreur ne provient pas de vous (homogénéité, ordre de grandeur, etc.).
- Les parties peuvent être traitées de manière indépendante et dans l'ordre que vous voulez. Cependant, les parties et questions devront être restituées dans l'ordre sur votre copie : il faudra donc savoir gérer les espaces si vous sautez des questions.

Pour **gagner** des points supplémentaires :

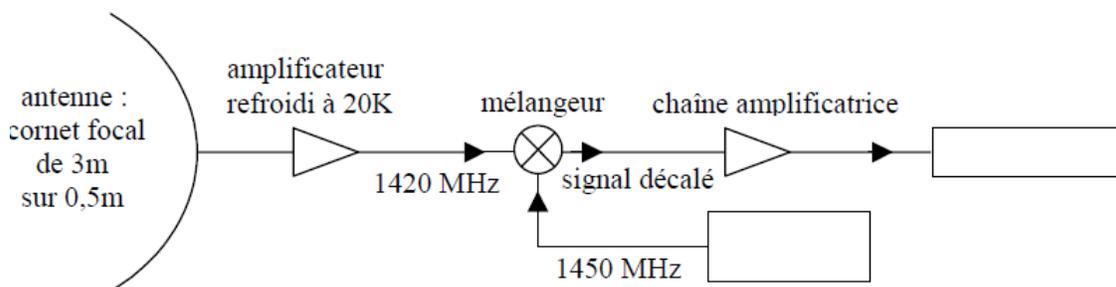
- La réalisation de schémas soignés, non explicitement demandés et accompagnant le propos pourra être valorisé.
- Les commentaires sur les valeurs numériques seront appréciés et éventuellement valorisés.

Ce qui vous fera **perdre** des points :

- Un schéma "miniature-brouillon-coin-d'feuille" ne sera pas validé comme schéma. Un schéma doit remplir au moins 1/4 voir 1/3 de votre feuille. Ne tracez pas les dipôles électriques à la règle (perte de temps).
- Une réponse non justifiée : ne pas expliciter les hypothèses, définitions, propriétés et théorèmes employés conduira à un malus.
- Un résultat non homogène. Un vecteur égal à un scalaire.
- Utiliser les valeurs numériques à la place des expressions littérales des grandeurs. Pour ne pas perdre de points, conduisez le calcul avec les grandeurs littérales, puis, une fois l'expression littérale obtenue et qu'une application numérique est demandée, remplacer les grandeurs par leurs valeurs numériques.
- Laisser l'application numérique sous la forme d'une fraction.

1 Simulation d'un élément de radiotélescope (d'après ENSTIM 2000)

Inauguré en 1965, le radiotélescope de Nançay a été créé pour étudier le décalage Doppler de la raie 21cm de l'atome d'hydrogène due au couplage spin nucléaire - spin électronique. C'est un moyen privilégié d'étude de la cinématique de l'hydrogène interstellaire, et donc des mouvements dans l'univers. De 1956 à 1967, de nombreux chercheurs ont travaillé à la très délicate mise au point de la chaîne de réception suivante.

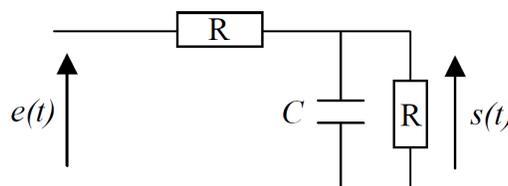


On se propose de reproduire simplement le principe d'un mélangeur en TP en se plaçant 6 décades plus bas en fréquence. Soit deux tensions : $a(t) = A \cos(2\pi f_a t)$ avec $f_a = 1420$ Hz imitant le signal reçu par l'antenne et $e_0(t) = E_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi)$ avec $f_0 = 1450$ Hz. Mises aux entrées d'un multiplieur la sortie en tension vérifie $m(t) = a(t) \times e_0(t)$.

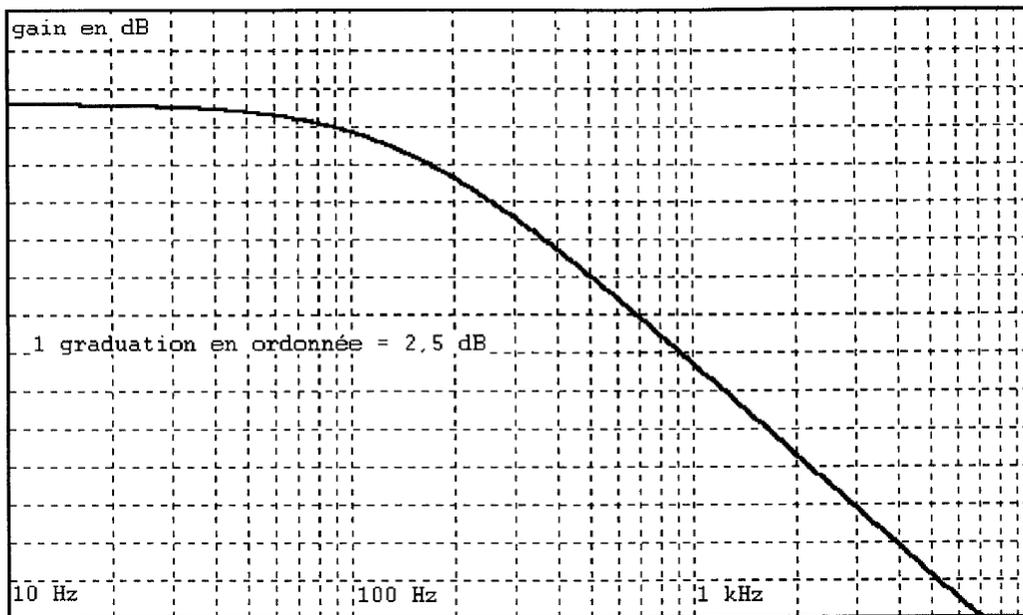
1. Démontrer que $m(t)$ est la somme de deux signaux sinusoïdaux de fréquence f et $f' > f$ en utilisant la formule trigonométrique de votre choix. Calculer numériquement f et f'

On utilise le filtre représenté ci-contre.

2. En effectuant un schéma équivalent en BF (basse fréquence), puis un autre en HF (haute fréquence), déterminer sans calcul le type de ce filtre.
3. Déterminer la fonction de transfert complexe $\underline{H}(x)$ de ce filtre en fonction de $x = \omega RC$
4. Déterminer sa pulsation de coupure et sa bande passante en fonction de R et C.



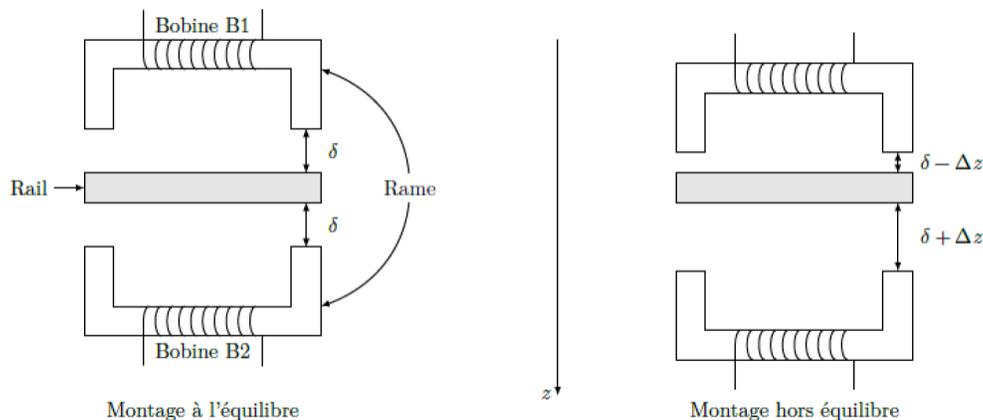
Le gain du filtre est représenté sur la page suivante.



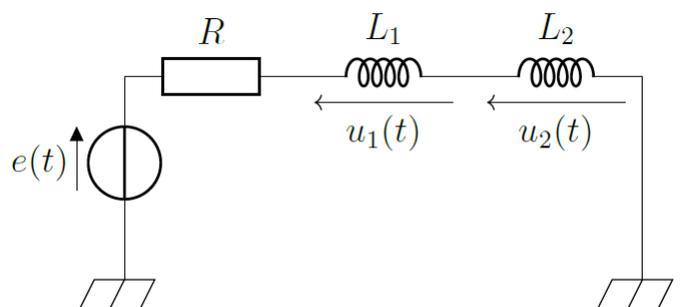
2. Déterminer un ordre de grandeur du produit R.C.
 3. En haute fréquence, pourquoi parle-t-on d'une intégration? Comment vérifie-t-on cette propriété sur le diagramme de Bode en gain? Vers quelle valeur tend alors le déphasage de $s(t)$ par rapport à $e(t)$?
- On place à l'entrée de ce filtre le signal $m(t)$. La sortie s'écrit alors $s(t) = S \cos(2\pi f t + \varphi_S) + S' \cos(2\pi f' t + \varphi_{S'})$.
4. Déterminer la valeur numérique de S'/S à partir du diagramme de Bode en gain.
 5. Sachant que l'atténuation de la véritable chaîne de réception est bien supérieure, en déduire la valeur de la fréquence du signal décalé de la chaîne originale.

2 Trains à sustentation électromagnétique : capteur de position (d'après CCS PSI 2018)

L'instabilité de l'équilibre d'une rame en sustentation magnétique nécessite un asservissement en position. On se propose dans cette partie d'étudier le principe d'un capteur de position à inductance variable nécessaire à cet asservissement. Le capteur comprend un circuit magnétique composé d'un noyau solidaire du rail fixe et de bobines B1 et B2 en vis-à-vis, solidaires de la rame.



On envisage une variation Δz de la position du train par rapport à la position d'équilibre $z_e = \delta$. L'inductance des bobines 1 et 2 valent respectivement $L_1 = L_e \left(1 + \frac{\Delta z}{\delta}\right)$ et $L_2 = L_e \left(1 - \frac{\Delta z}{\delta}\right)$, pour $\Delta z \ll \delta$, avec $L_e = 60$ mH. Ces bobines reliées entre elles en série sont alimentées par un générateur de tension modélisable comme un générateur de tension sinusoïdal de valeur $e(t) = E \cos(\omega t)$ de fréquence d'utilisation de $f = 4$ kHz en série avec une résistance $R = 750 \Omega$. On néglige ici les résistances des deux bobines.



6. Déterminer les expressions des tensions électriques complexes \underline{u}_1 et \underline{u}_2 en fonction de R , L_1 , L_2 , ω et $\underline{e}(t)$.

Ces deux tensions \underline{u}_1 et \underline{u}_2 sont placées en entrée d'un montage soustracteur qui délivre en sortie une tension $\underline{u}_s = \underline{u}_1 - \underline{u}_2$.

7. Établir la fonction de transfert complexe $\underline{H}(j\omega) = \frac{u_s}{e}$ et la mettre sous la forme $\underline{H}(j\omega) = H_0 \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$, où H_0 et ω_0 sont des fonctions

de L_e , R , Δz et δ , que l'on déterminera.

8. Tracer le diagramme de Bode asymptotique de $\underline{H}(j\omega)$ en fonction de $\frac{\omega}{\omega_0}$. Distinguer deux cas en fonction du signe de Δz

9. De quel type de filtre s'agit-il?

10. Quelle est la signification de la pulsation ω_0 ?

11. Dans quelle gamme de fréquences doit-on travailler pour que $\underline{H}(j\omega)$ soit indépendant de ω et proportionnel au déplacement de la rame? Proposer une application numérique.

12. Montrer que le signal de sortie peut se mettre sous la forme $u_s(t) = E \frac{\Delta z}{\delta} \cos(\omega t + \varphi)$.

13. Exprimer et calculer le déphasage φ .

On souhaite obtenir un signal indépendant de ω représentant la position z de la rame. On utilise pour cela un multiplieur analogique, de constante multiplicative K_m . En sortie du multiplieur, la tension s'écrit $s_m(t) = K_m \times e(t) \times u_s(t)$.

14. Exprimer la tension électrique $s_m(t)$ à la sortie du multiplieur et donner sa décomposition spectrale (linéariser $s_m(t)$ (pour transformer les \cos^2 en \cos)). Préciser le terme représentatif de la position z de la rame.

15. Quel montage peut-on placer à la sortie du multiplieur pour ne récupérer que la tension continue proportionnelle au déplacement z ? Préciser la nature et les caractéristiques du montage.

16. Exprimer la sensibilité S du capteur, défini comme le rapport entre la composante continue en sortie du multiplieur et Δz .

17. Le capteur permet de mesurer la tension de sortie à 10 mV près. En déduire le plus petit écart relatif par rapport à la position d'équilibre. On prendra $E = 6,0 \text{ V}$, $K_m = 1,0 \text{ V}^{-1}$.

18. Déterminer complètement le signal en sortie du filtre alimenté par $e(t) = E \cos(\omega_1 t) + \frac{E}{2} \cos(\omega_2 t)$, avec $\omega_1 = \omega_0/2$ et $\omega_2 = 2\omega_0$.

19. Quel est le comportement du filtre à basse fréquence? Comment agira-t-il sur un signal triangulaire?

3 Décomposition des molécules de chloro-glycine (adapté de CCS TSI 2019)

En 2012, en reproduisant les conditions d'exposition aux rayons ultra-violetes solaires qui règnent sur Mars, l'université de Weber (Utah, États-unis) a étudié, en solution aqueuse, les réactions de formation d'acides α -aminés chlorés (chloro-glycine et chloro-alanine) à partir des ions hypochlorite (constituant issu de réactions de réduction des ions chlorate sur Mars) et d'acides α -aminés (glycine et alanine). Exposée aux rayons ultraviolets, la chloro-glycine (que nous désignons par A par la suite), par exemple, est un constituant instable.

3.1 Structure des ions et des molécules

On appelle le groupe $-\text{COOH}$ un groupe carboxylique et le groupe $-\text{NH}_2$ un groupe amine. Ces groupes sont présents dans la structure de la glycine de formule $\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ et sur l'alanine de formule $\text{CH}_3-\text{CHNH}_2-\text{COOH}$.

20. Indiquer le numéro des colonnes du carbone, de l'azote, de l'oxygène et du chlore. Quel nom porte la colonne comprenant ce dernier? En déduire le nombre d'électrons de valence de ces éléments. Classez ces éléments en fonction de leurs électronégativités.

21. Représenter la structure de Lewis de l'acide méthanoïque $\text{H}-\text{COOH}$ où l'atome de carbone est l'atome centrale. Les liaisons hydrogènes sont-elles possibles entre molécules d'acide méthanoïque? Justifier.

22. Proposer une structure de Lewis de la glycine et de l'alanine et de la chloro-glycine $\text{ClNH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.

23. Proposer une structure de Lewis pour les ions chlorates ClO_3^- et les ions hypochlorite ClO^- .

24. Expliquer en quoi les ions hypochlorites sont issus d'une réaction de réduction des ions chlorates.

3.2 Cinétique de décomposition

Nous nous intéressons ici, à la température de 298 K, à la cinétique de la réaction de décomposition de ce constituant en solution aqueuse selon la réaction d'équation écrite formellement : $A \rightarrow \text{produits}$. Trois expériences ont été réalisées avec des concentrations molaires initiales $[A]_0$ valant $1,00 \times 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$, $2,00 \times 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ et $5,00 \times 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$. L'évolution temporelle de la concentration molaire en A est représentée sur la figure page suivante.

25. Définir le temps de demi-réaction. L'estimer graphiquement pour chacune des trois expériences. Que remarque-t-on?

26. Cette réaction est une réaction avec ordre. Quel est la valeur de l'ordre de cette réaction? Justifier la réponse.

27. On note k la constante de vitesse. Quelle est l'équation différentielle satisfaite par $[A]$?
28. Exprimer $[A]$ au cours du temps en fonction de la concentration initiale $[A]_0$, de la constante de vitesse et du temps.
29. Calculer la constante de vitesse k .
30. L'université de Weber a obtenu une valeur de k égale à $1,65 \times 10^{-6}$ SI. La valeur trouvée à la question précédente est-elle en bon accord avec cette valeur ?

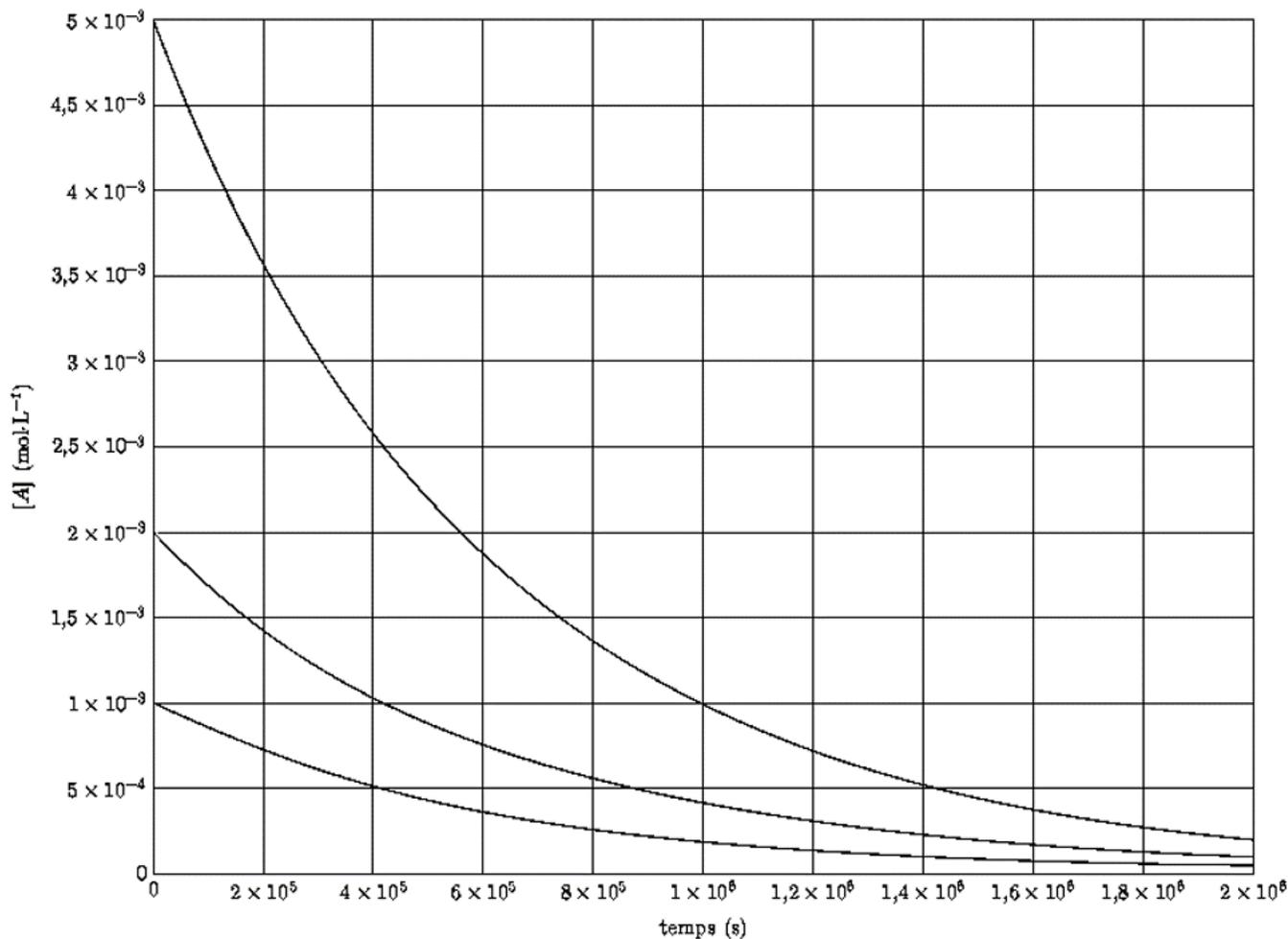


Figure A Évolution temporelle de la concentration molaire en chloro-glycine pour trois concentrations molaires initiales $[A]_0 = 1,00 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $[A]_0 = 2,00 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $[A]_0 = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$