DM 1 Électronique

Lycée Thiers - Physique-Chimie - MPI/MPI*- 2026-2027

Travail demandé à rendre le 18/09/2026

Chaque étudiant rend une copie même s'il n'est pas interdit de chercher les exercices en groupe.

Problème I - Accordeur de guitare

Ce problème est extrait du sujet de physique-chimie 2 de l'épreuve de CCS TSI 2019.

La guitare comporte six cordes : Mi grave, La, Ré, Sol, Si, Mi aigu. Les fréquences fondamentales théoriques de vibration de ces cordes, notées f_{ac} sont données dans le tableau 1.

Corde	Fréquence
Mi grave	82.4 Hz
La	110.0 Hz
Ré	146.8 Hz
Sol	196 Hz
Si	246.9 Hz
Mi aigu	329.6 Hz

Tab. 1 – Fréquences fondamentales de vibration des cordes de guitare

On souhaite accorder une corde *légèrement* désaccordée : on notera f_{co} la fréquence fondamentale de vibration de la corde en question.

Principe de l'accordeur :

- ▷ Sélection de la corde à accorder (donc f_{ac} est fixée).
- ▷ Création d'un signal carré de référence de fréquence f_{ac} avec un oscillateur de type astable.
- ▷ Enregistrement du signal $u_e(t)$ provenant de l'excitation de la corde à accorder : signal quelconque, d'amplitude assez faible, de fréquence f_{co}.
- ▷ Amplification et filtrage de ce signal.
- ▷ Extraction de la fondamentale du signal : obtention d'un signal sinusoïdal de fréquence f_{co} par l'utilisation d'un filtre à fréquence caractéristique réglable par le signal extérieur de référence.
- ▷ Mise en forme de ce signal : obtention d'un signal carré de fréquence f_{co}.
- ▷ On a donc à disposition deux signaux carrés (signaux logiques) de fréquences respectives f_{ac} et f_{co}. Dans les accordeurs récents le traitement est numérique : les signaux sont envoyés dans un calculateur numérique intégré qui calcule l'écart de fréquence et indique à l'utilisateur quand la corde est accordée, c'est-à-dire quand $f_{co} = f_{ac}$.

Ce principe général est schématisé sur la figure 1.

Ce problème s'intéresse au traitement du signal venant de la corde.

I.1. Le signal

La figure 2 montre un exemple de signal électrique à la sortie du micro d'une guitare électrique.

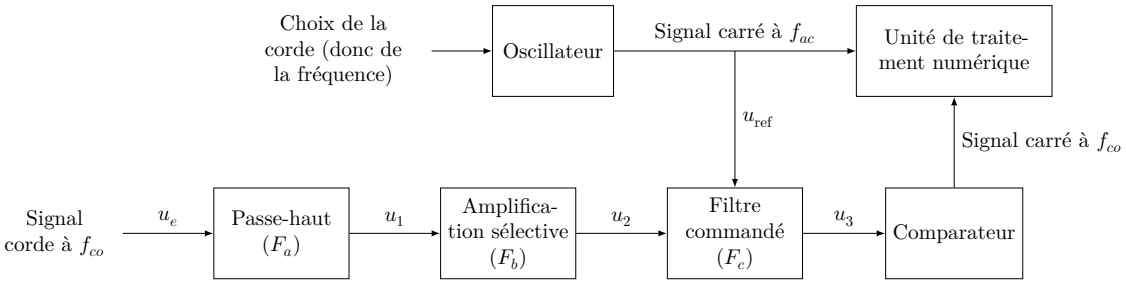


Fig. 1 – Principe de fonctionnement de l'accordeur de guitare.

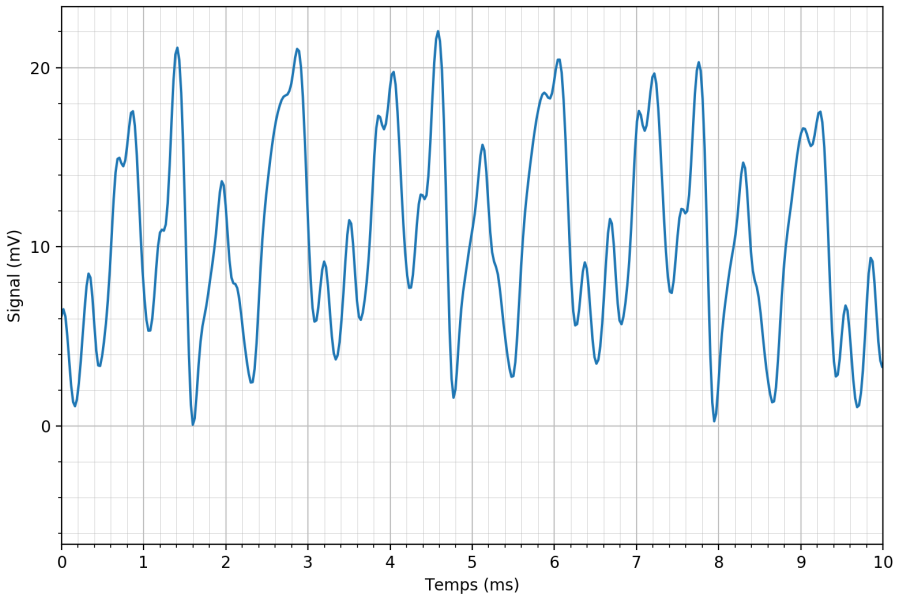


Fig. 2 – Principe de fonctionnement de l'accordeur de guitare.

I.1. Donner une valeur approchée de la valeur moyenne de ce signal.

I.2. Donner une estimation de la valeur de la fréquence de ce signal (on peut supposer qu'en première approximation le signal est périodique).

I.3. De quelle corde de guitare s'agit-il ?

I.4. L'analyse spectrale de ce signal fera-t-elle apparaitre des harmoniques ? Justifier.

I.2. Le filtre

Avant toute chose, le signal électrique provenant du micro de la guitare est envoyé sur le filtre de la figure 3 (filtre (F_a)).

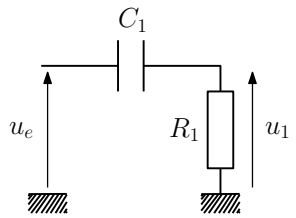


Fig. 3 – Filtre (F_a).

I.5. En supposant l'entrée sinusoïdale, définir et exprimer la fonction de transfert $\underline{H}_1(j\omega)$ de ce filtre en fonction de R_1, C_1 et de la pulsation ω du signal.

I.6. De quel type de filtre s'agit-il ? Faire apparaître une pulsation caractéristique ω_1 en fonction de R_1 et C_1 et préciser sa signification.

I.7. Tracer l'allure du diagramme de Bode asymptotique relatif au gain.

I.8. On a choisi $R_1 = 100\,\text{k}\Omega$ et $C_1 = 100\,\text{nF}$. Calculer la fréquence de coupure f_1 à -3 dB de ce filtre. Au vu de l'allure du signal de la figure 2, quel est le rôle de ce premier filtre ?

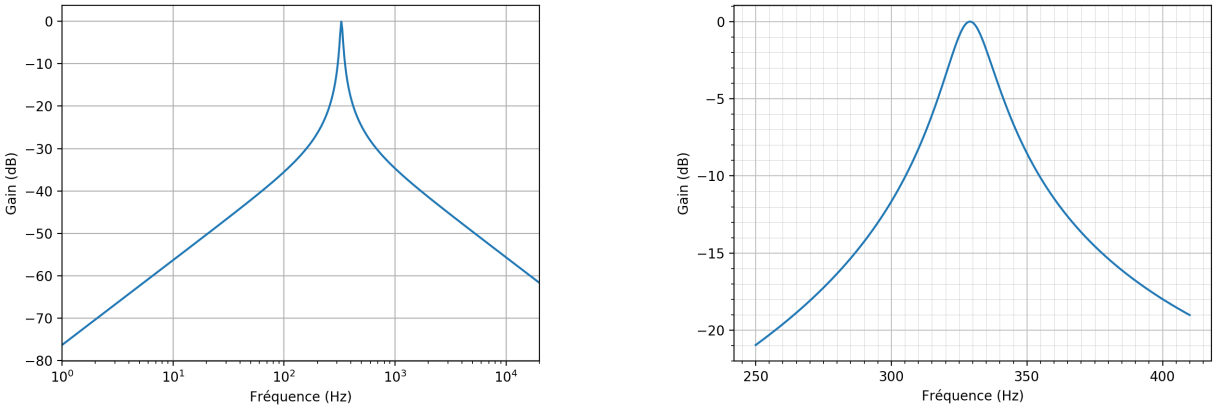
I.3. Filtrage (très) sélectif commandé

On souhaite maintenant sélectionner la fréquence fondamentale f_{co} du signal u_2, dont la valeur est à priori voisine de celle de la fréquence fondamentale théorique de vibration de la corde sélectionnée sur l'accordeur (f_{ac}) (on suppose que la corde est légèrement désaccordée). On suppose pour la suite que c'est la corde Mi aigüe que l'on souhaite accorder.

Le principe du filtre (F_c) est que sa fréquence caractéristique soit réglée par le signal de référence de fréquence f_{ac}.

Diagramme de Bode

La figure 4 représente le diagramme de Bode relatif au gain du filtre (F_c) tracé à deux échelles différentes.



(a) (b)

Fig. 4 – Diagramme de Bode en gain du filtre (F_c).

I.9. Dire en le justifiant rapidement, de quel type de filtre il s'agit. Quelle est sa fréquence centrale caractéristique ?

I.10. Donner une estimation de sa bande-passante à - 3dB après l'avoir définie.

I.11. Si la corde est désaccordée à $f_{co} = 315\,\text{Hz}$, estimer, en le justifiant, de quel facteur est atténuée sa composante spectrale fondamentale en sortie de ce filtre.

On donne les valeurs suivantes : $10^{-0.1} \approx 0.8$, $10^{-0.3} \approx 0.5$, $10^{-0.5} \approx 0.3$ et $10^{-0.7} \approx 0.2$.

Analyse spectrale

La figure 5 correspond au spectre du signal d'entrée u_e représenté sur la figure 2.

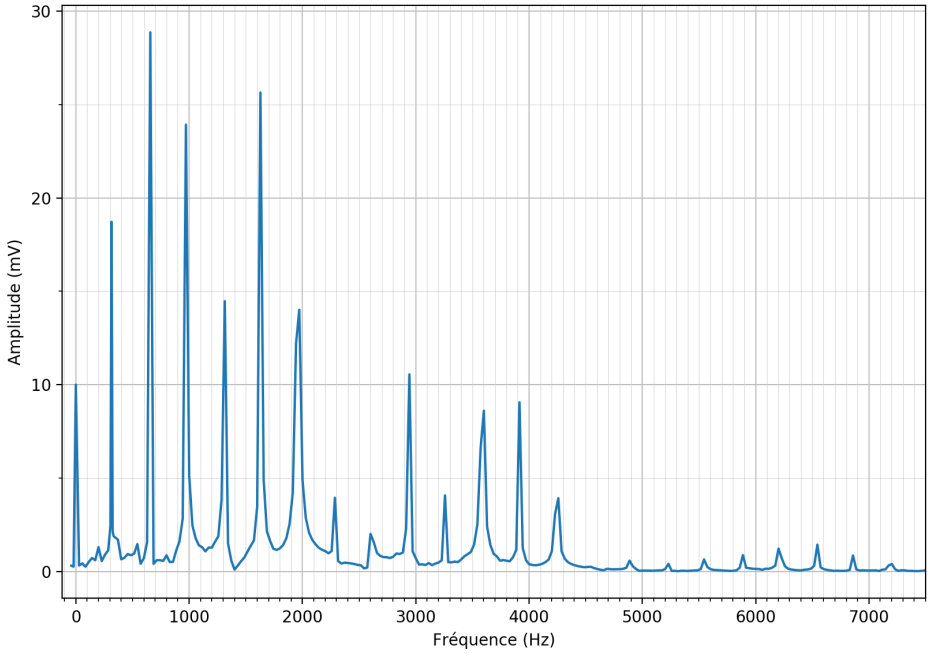


Fig. 5 – Spectre du signal d'entrée.

I.12. Justifier qu'il est parfaitement cohérent qu'il s'agisse du spectre du signal de la figure 2.

I.13. En le justifiant soigneusement, dire quel spectre de la figure 6 correspond à la sortie du premier filtre (F_a).

I.14. Tracer l'allure du spectre du signal en sortie du filtre (F_c). Tracer l'allure du signal (temporel) correspondant.

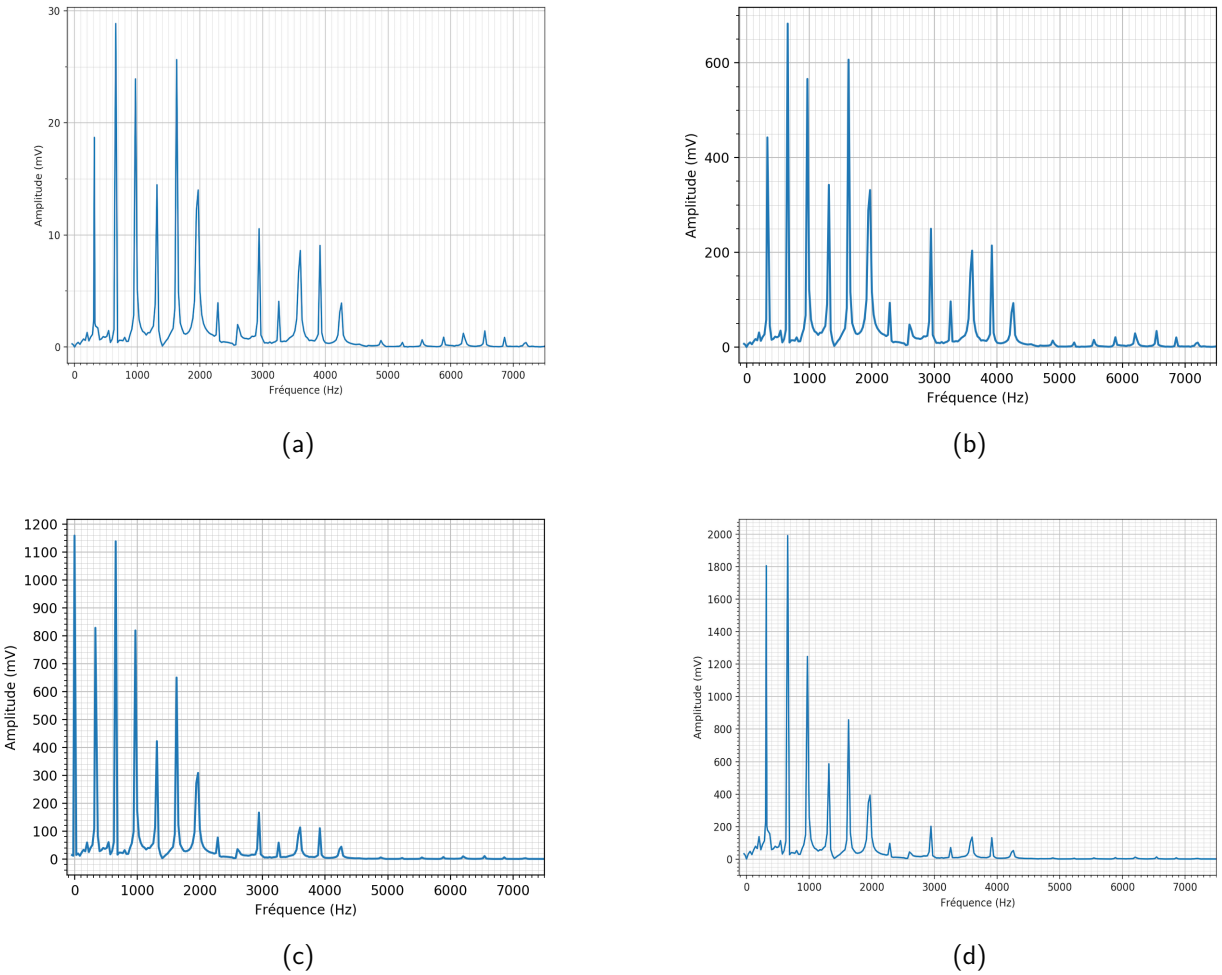


Fig. 6 – Spectres.

Problème II - Système d'arrosage automatique d'un green de golf

Ce sujet est extrait de l'épreuve de physique CCINP MPI 2024.

Entre océan, dunes et pinèdes, le département des Landes abrite de grands espaces naturels et sauvages. En parfaite harmonie avec ces espaces, neuf golfs, véritables écrins de verdure (dont six se trouvent sur le littoral), participent à la beauté des paysages. Ceux de Seignosse, Moliets et Hossegor jouissent d'une renommée internationale.

Entretenir un green sur un sol sablonneux (y compris parfois à même la dune littorale ! (photo 5)) demande une maîtrise des techniques d'irrigation. On se propose dans cette partie d'étudier le montage électronique de la figure 9 qui illustre un système d'arrosage automatique.



Photo 5 - Green sur la dune du Golf de Moliets (trou n°16)
(http://www.golflounge.com)

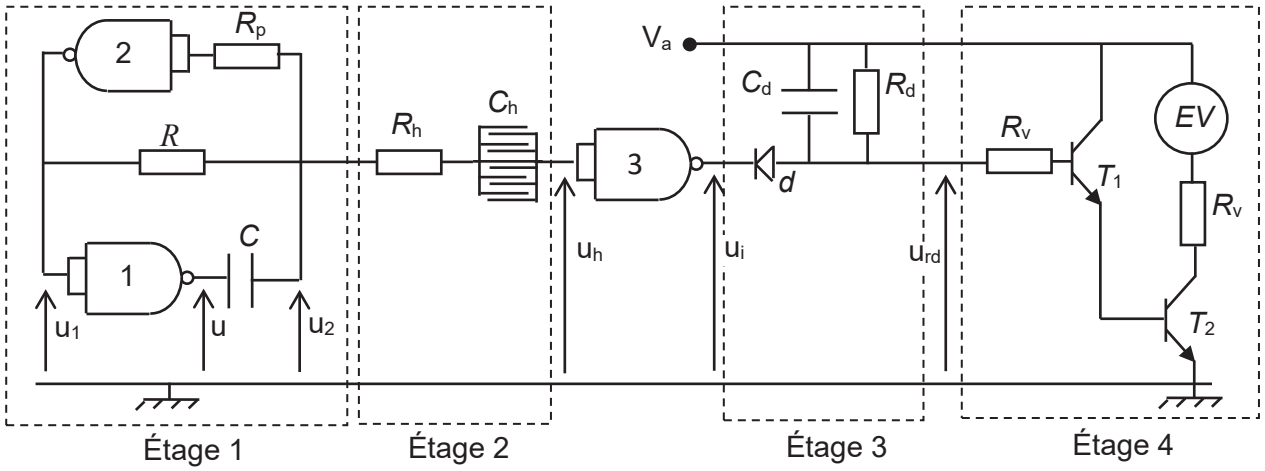


Figure 9 - Schéma d'un système électronique d'arrosage automatique

Il s'agit d'un montage comportant trois portes NAND à deux entrées reliées entre elles.

EV est une électrovanne permettant l'arrivée d'eau, *d* est une diode et T_1 et T_2 sont des transistors de puissance. Aucune connaissance sur le fonctionnement de ces composants n'est nécessaire.

La tension de sortie des portes NAND est $V_a > 0$ pour une sortie à l'état logique "1" et 0 pour une sortie à l'état logique "0".

La tension V_a est aussi utilisée comme potentiel imposé au point représenté sur le montage.

On note V_b (avec $V_b < V_a$) la tension de basculement des portes logiques : une tension d'entrée $V_e < V_b$ correspond à un niveau logique "0" en entrée de porte. Inversement une tension d'entrée $V_e > V_b$ correspond à un niveau logique "1".
On néglige la résistance de sortie des portes logiques et on considère leur résistance d'entrée comme infinie.

Q28. Rappeler la table de vérité d'une porte NAND à deux entrées indépendantes. Quelle est la fonction de cette porte lorsque ses deux entrées sont reliées entre elles ?

On étudie l'étage 1. La résistance R_p est une résistance de protection (indispensable en pratique) mais elle ne joue aucun rôle dans l'étude théorique de l'étage 1. De plus, le prélèvement en courant, réalisé par la connexion à l'étage 2, est supposé négligeable (ce qui est assuré par la grande valeur de la résistance R_h).

Q29. Établir que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t) = u_2(t) - u(t)$ s'écrit $\tau \dfrac{du_c}{dt} + u_c = u_1 - u$ dans laquelle on exprimera le temps caractéristique τ.

Q30. a) À l'instant initial de date $t = 0$, le condensateur C est déchargé et $u_1 = V_a$. Que vaut alors $u(t = 0^+)$? En déduire les expressions de $u_c(t)$ et de $u_2(t)$, valables tant que $u_1 = V_a$.

b) Exprimer la date t_b de fin de validité des expressions précédentes de $u_c(t)$ et de $u_2(t)$. On donnera t_b en fonction de τ, V_a et de V_b.

Q31. a) Écrire, en justifiant, la nouvelle équation différentielle vérifiée par $u_c(t)$, valable à partir de la date t_b et jusqu'à une nouvelle date de fin de validité $t'_b > t_b$.

b) Obtenir alors les nouvelles expressions de $u_c(t)$ et de $u_2(t)$ pour $t_b < t < t'_b$.

c) Exprimer $t'_b - t_b$ en fonction de τ, V_a et de V_b.

Q32. a) Quelle équation différentielle est à considérer à partir de la date t'_b et jusqu'à une nouvelle date de fin de validité $t''_b > t'_b$? Exprimer alors $u_c(t)$ et $u_2(t)$ pour $t'_b < t < t''_b$.

b) En déduire $t''_b - t'_b$ en fonction de τ, V_a et de V_b.

Q33. Faire un tracé soigné des chronogrammes de $u(t)$, $u_c(t)$ et $u_2(t)$ sur une même figure.

Q34. a) Déduire l'expression de la période T des signaux obtenus pour $t > t_b$.

b) Calculer T pour $V_a = 5$ V, $V_b = 1{,}5$ V, $R = 100$ kΩ et $C = 20$ nF.

c) Quel rôle assure l'étage 1 pour les étages postérieurs à lui ? Quel nom porte ce type de circuit en électronique ?

L'étage 2 correspond à un capteur capacitif d'humidité enfoui dans le sol. Il s'agit d'un condensateur de capacité C_h variable avec le taux d'humidité. La tension $u_h(t)$ en sortie de capteur est envoyée à l'entrée de la porte NAND 3, qui fournit une tension $u_i(t)$ à sa sortie. L'étage 3, constitué de la diode d en série avec un circuit (R_d, C_d), réalise un redressement-filtrage qui transforme $u_i(t)$ en une tension $u_{rd}(t)$ quasi-constante (on ne demande pas de justifier ce point). Lorsque u_{rd} dépasse 3,5 V, l'électrovanne *EV* est alimentée en courant (grâce aux transistors présents à l'étage 4), ce qui déclenche l'arrosage.

Les chronogrammes de $u_h(t)$, $u_i(t)$ et de $u_{rd}(t)$ sont donnés en **figure 10a** lorsque $C_h = 1\,000$ pF et en **figure 10b** lorsque $C_h = 700$ pF (l'origine des temps sur ces graphes a été choisie arbitrairement).

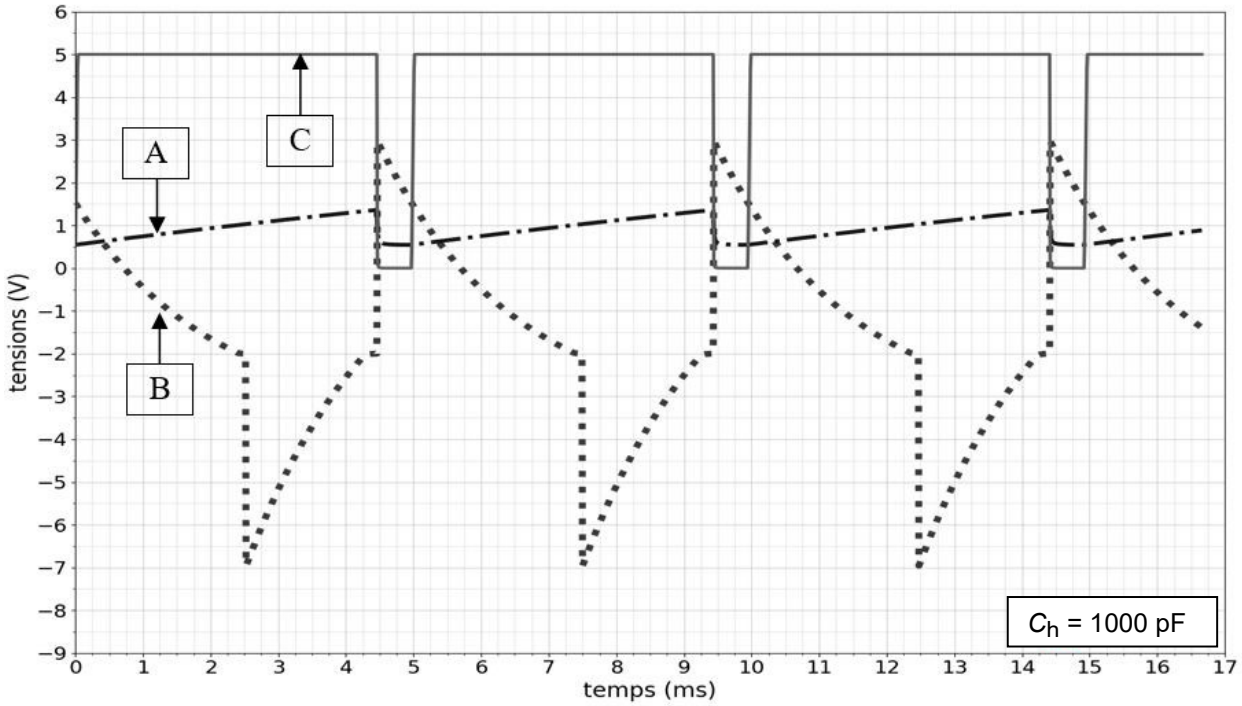


Figure 10a - Chronogrammes de $u_h(t)$, $u_i(t)$ et $u_{rd}(t)$ pour $C_h = 1\,000$ pF

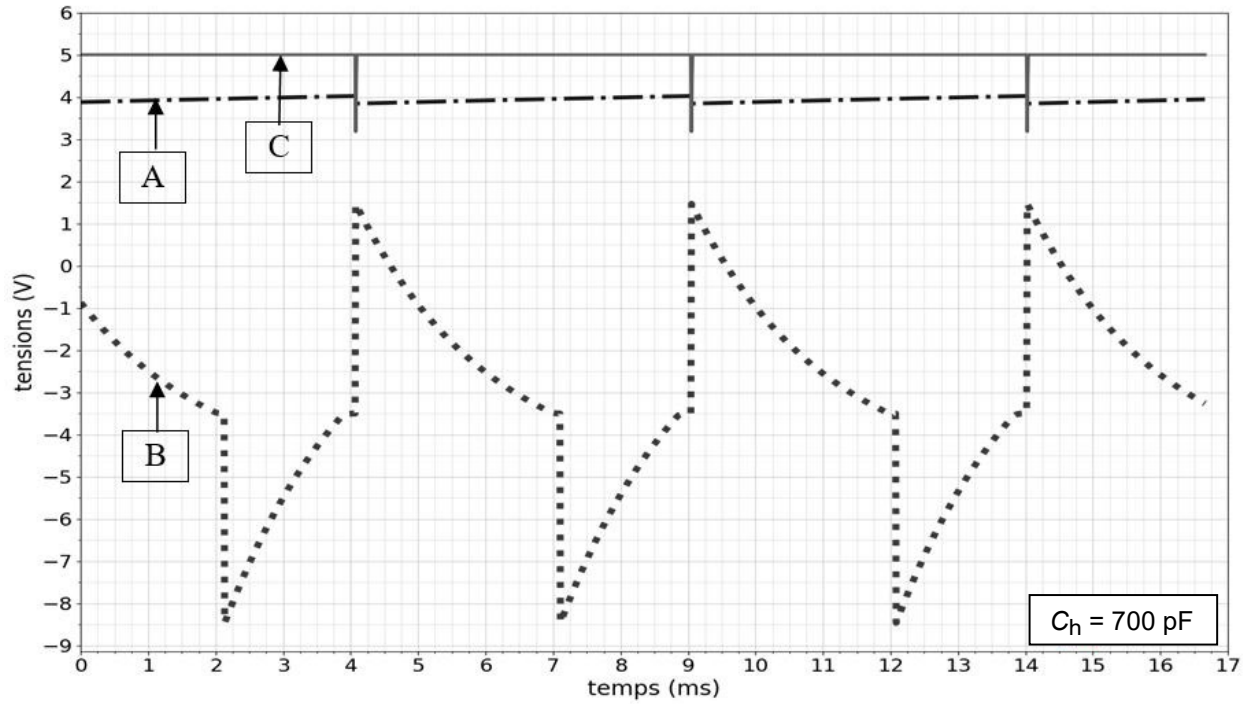


Figure 10b - Chronogrammes de $u_h(t)$, $u_i(t)$ et $u_{rd}(t)$ pour $C_h = 700$ pF

Q35. a) Justifier que $u_h(t) = u_2(t) + k$ où k est une constante qu'on ne cherchera pas à expliciter. On admet par ailleurs que cette constante dépend de la valeur de C_h.

b) Associer chaque signal $u_h(t)$, $u_i(t)$ et $u_{rd}(t)$ à son chronogramme A, B ou C.

c) Laquelle des **figures 10a** ou **10b** correspond à la situation d'arrosage ? La capacité C_h augmente-t-elle ou diminue-t-elle avec le taux d'humidité ?

d) Expliquer la forme du signal C en lien avec le signal B de la **figure 10a**. Commenter le cas de la **figure 10b**.