

DS

TSI2

Physique

4h

19 septembre 2025

Ce sujet est en trois parties indépendantes. La partie I représente environ 35% du barème, la partie II environ 35% et la partie III environ 30%.

I. Modélisation d'un pH-mètre (CCS TSI 2021)

II. Chimie de l'hydrogène (CCINP TSI 2011)

III. Oscillateurs en électronique (CCP TSI 2018)

Recommandations importantes

La plus grande attention sera apportée au soin, à la présentation et à la qualité de la rédaction.

Les résultats doivent être mis en valeur et exclusivement exprimés avec les notations de l'énoncé.

Si on introduit des notations personnelles, elles doivent toujours être soigneusement définies.

Un résultat non justifié ne sera, au mieux, que partiellement pris en compte.

Même si une valeur numérique est demandée, vous devez avant tout donner l'expression littérale.

Le calcul de la valeur numérique n'est jamais que la toute dernière étape.

Les résultats numériques doivent être accompagnés de leur unité.

Les parties peuvent être traitées dans un ordre quelconque, mais respectez la numérotation des questions.

Lisez l'énoncé en entier avant

(Calculatrice autorisée)

Partie I

I Étude de l'indicateur de suivi pH-métrique et de la régulation du pH

La gamme optimale de pH pour la digestion anaérobie se situe entre 6,8 et 7,2. Il est donc important de suivre régulièrement le pH du digesteur et d'ajouter une espèce acide ou une espèce basique pour toujours se situer dans la fourchette de fonctionnement optimal du digesteur.

I.A – Modélisation du pH-mètre

On se propose de modéliser le pH-mètre comme une association en série d'un générateur de tension idéale de force électromotrice E fonction du pH avec une résistance électrique r (figure 2).

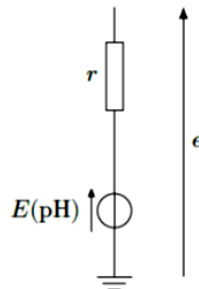


Figure 2 Modélisation d'un pH-mètre

Q 1. On souhaite mesurer la tension e à l'aide d'un voltmètre de résistance interne $R_V = 1,0 \text{ M}\Omega$. Exprimer la tension mesurée e en fonction de E , r et R_V . Calculer la valeur de e en prenant $r = 10 \text{ M}\Omega$ et $E = 0,20 \text{ mV}$.

Q 2. Quelle valeur minimale de résistance interne du voltmètre R'_V aurait-il fallu avoir pour commettre une erreur inférieure à 10 % sur la mesure de E ?

Pour s'affranchir des problèmes de mesures liés à la résistance interne r du pH-mètre, on utilise le montage de la figure 3 dans lequel l'amplificateur linéaire intégré (ALI) est supposé idéal et fonctionne en régime linéaire.

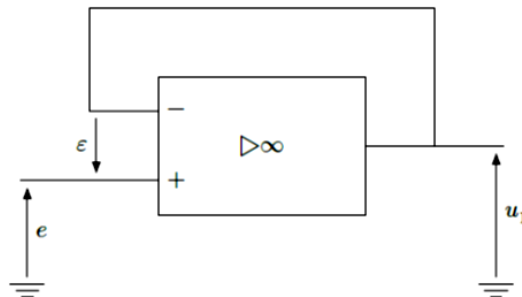


Figure 3

Q 3. Quel est le nom de ce montage ? Justifier que $u_1 = E$.

Le digesteur est continuellement agité pour assurer une homogénéité du milieu. Cette agitation mécanique lente provoque une perturbation électromagnétique du signal E . À un pH donné, l'évolution de E en fonction du temps t est représentée figure 4.

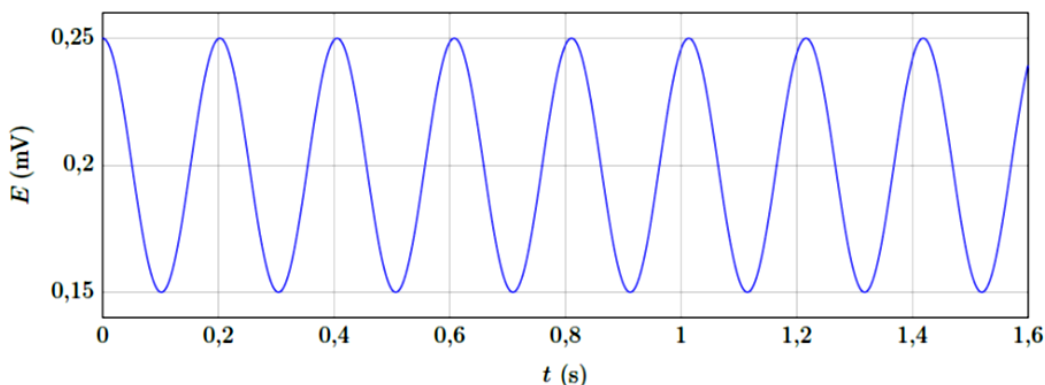


Figure 4

Q 4. Représenter la décomposition spectrale du signal de la figure 4.

I.B – Filtrage linéaire

On envoie le signal $u_1(t)$ en entrée du filtre représenté figure 5.

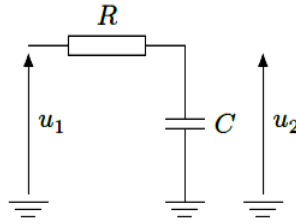


Figure 5

L'étude sera menée en régime sinusoïdal, ω désigne la pulsation du signal, ω_0 la pulsation propre et x désigne la pulsation réduite $x = \omega/\omega_0$.

Q 5. Effectuer une analyse qualitative du filtre à basse et haute fréquence. En déduire la nature du filtre. Justifier de son intérêt dans le cas présent.

Q 6. Exprimer la fonction de transfert du filtre $\underline{H}(j\omega)$ sous la forme

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + j(\omega/\omega_0)}$$

en identifiant les expressions de H_0 et ω_0 .

Q 7. Exprimer le gain du filtre $G(x)$ et la phase $\varphi(x) = \arg(\underline{H})$.

Q 8. Déterminer la pulsation réduite de coupure x_c à -3 dB.

Q 9. Exprimer le gain en décibels $G_{dB}(x)$ puis déterminer les équivalents à basse et haute fréquence.

Q 10. Construire le diagramme de Bode, réponses en gain $G_{dB} = f(\log x)$ et en phase $\varphi = f(\log x)$.

On considère le signal d'entrée de la forme

$$u_1(t) = E + \frac{E}{4} \cos(10\omega_0 t).$$

On cherche le signal de sortie $u_2(t)$ sous la forme :

$$u_2(t) = A_1 + A_2 \cos(\omega_2 t + \psi_2).$$

Q 11. Exprimer les constantes A_1 , A_2 , ω_2 et ψ_2 . Calculer pour $E = 0,20$ mV les valeurs de A_1 , A_2 et ψ_2 . Commenter l'effet de l'action du filtre sur le signal $u_1(t)$.

I.C – Régulation du pH

Afin d'assurer une production optimale de biogaz, le pH du digesteur doit être compris entre 6,8 et 7,2. On suppose que la sonde pH-métrique délivre un signal proportionnel au pH de telle sorte que $u_2(t) = k\text{pH}(t)$ avec k une constante. Un régulateur compare la tension mesurée u_2 à une tension de référence U_r . Selon la valeur de sortie $s(t)$ du comparateur, le régulateur délivre une solution appelée pH^- pour faire diminuer le pH ou une solution appelée pH^+ pour augmenter le pH.

On note $\pm U_s$ les tensions de saturation de l'Amplificateur Linéaire Intégré (ALI) que l'on supposera idéal.

I.C.1) Les solutions régulatrices

Q 12. Donner un exemple des ions constitutifs de la solution appelée pH^- .

Q 13. Même question pour la solution pH^+ .

I.C.2) Comparateur simple

La figure 6 donne le schéma d'un comparateur simple.

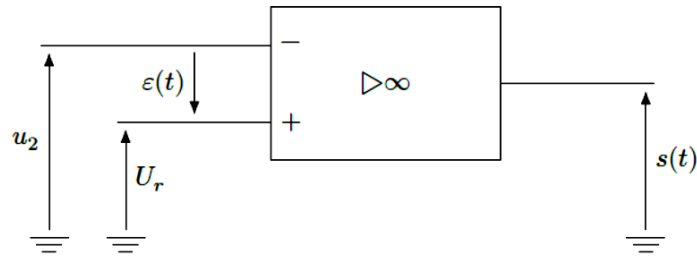


Figure 6 Comparateur simple

- Q 14. Dans quel régime fonctionne l'ALI ? Justifier la réponse.
- Q 15. Tracer la caractéristique $s = f(u_2)$.
- Q 16. Expliquer pourquoi le comparateur simple ne permet pas d'assurer la régulation du pH.

I.C.3) Comparateur à hystérésis ou trigger de Schmitt

Pour s'affranchir du problème rencontré précédemment, on utilise le montage présenté figure 7.

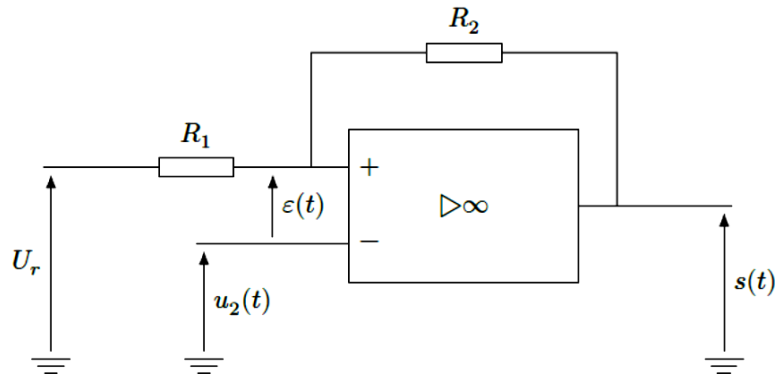


Figure 7 Comparateur à hystérésis

- Q 17. Exprimer le potentiel V^+ à la borne non inverseuse en fonction de R_1 , R_2 , s et U_r .
- Q 18. Initialement, on suppose que $s(0) = -U_s$. Exprimer la tension de basculement U_b^+ , tension pour laquelle la sortie $s(t)$ bascule en $+U_s$ en fonction de R_1 , R_2 , U_r et U_s . En déduire l'expression de la tension de basculement U_b^- .
- Q 19. En déduire l'allure de la caractéristique du comparateur à hystérésis $s = f(u_2)$. Conclure.

Partie II Chimie de l'hydrogène

Le dihydrogène : un carburant vert

L'hydrogène est considéré comme le vecteur d'énergie de demain. L'atome d'hydrogène, associé à l'atome d'oxygène, sous forme d'eau, est très abondant sur Terre et sa molécule, H_2 , est 2,5 fois plus énergétique que le gaz naturel. Il n'est ni polluant, ni toxique ; sa combustion dans l'air ne génère que de l'eau au contraire du gaz naturel ou du pétrole dont la combustion génère aussi du dioxyde de carbone.

Le dihydrogène est le combustible idéal des piles à combustible, le moyen le plus efficace pour convertir l'énergie chimique en énergie électrique.

Après avoir évoqué les effets indésirables dus à l'acidité du dioxyde de carbone, nous nous intéresserons à l'utilisation du dihydrogène en tant que carburant des piles à combustibles.

Nous évoquerons ensuite la méthode de production la plus utilisée, puis nous aborderons enfin le problème de son stockage.

Données

Constantes :

- Les gaz sont assimilés à des gaz parfaits ; constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- $RT \ln 10 / F = 0,060 \text{ V}$ à 298 K et $RT \ln 10 / F = 0,066 \text{ V}$ à 333 K
- $T(K) = t(^{\circ}C) + 273$
- $1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C.mol}^{-1}$
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

Atomistique :

- Masse molaire atomique de l'isotope $^{12}_6\text{C}$: $12,00000 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'isotope $^{13}_6\text{C}$: $13,00000 \text{ g.mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'hydrogène : 1 g.mol^{-1}
- Masse molaire atomique du titane : 48 g.mol^{-1}
- Masse molaire atomique du fer : 56 g.mol^{-1}
- Numéro atomique de l'hydrogène : 1
- Numéro atomique de l'oxygène : 8

Solutions aqueuses ; données à 298 K :

- L'équilibre $\text{CO}_{2(g)} = \text{CO}_{2(aq)}$ a pour constante $K^{\circ} = 3,37 \cdot 10^{-2}$
- Constantes d'acidité K_a : $\text{CO}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-$: $pK_{a1} = 6,4$; $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$: $pK_{a2} = 10,3$
- Produit ionique de l'eau K_e : $pK_e = 14$
- Produits de solubilité K_s : $\text{Ca(OH)}_{2(s)}$: $pK_s = 5,2$;
- Potentiels standard à pH = 0 : $E^{\circ}(\text{H}^+_{(aq)} / \text{H}_{2(g)}) = 0 \text{ V}$; $E^{\circ}(\text{O}_{2(g)} / \text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$

Partie A : La pollution atmosphérique : étude des pluies acides

A-1- Etude d'atomes et de molécules intervenant dans l'acidité des pluies

Structure atomique et isotopie

A-1-1- Le carbone, à l'état naturel, est constitué principalement par les isotopes $^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$.

- Que signifient l'indice 6 et l'exposant 13 relatifs à l'isotope $^{13}_6\text{C}$?
- Combien de neutrons le noyau de l'isotope $^{13}_6\text{C}$ contient-il ?

A-1-2- En ne considérant que les deux isotopes $^{12}_6\text{C}$ et $^{13}_6\text{C}$, déduire de la masse molaire atomique du carbone à l'état naturel ($12,01115 \text{ g.mol}^{-1}$) sa fraction molaire en isotope $^{13}_6\text{C}$.

Structure moléculaire

A-1-3- Proposer une représentation de Lewis possible pour la molécule CO_2 et les ions HCO_3^- et CO_3^{2-} sachant que l'atome de carbone est au centre de chaque édifice.

A-2- Le caractère acide de CO_2

L'eau de pluie est naturellement acide : en effet, le dioxyde de carbone présent dans l'air se dissout dans l'eau pour former « l'acide carbonique » H_2CO_3 , que nous noterons $\text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}$, et donne lieu à des équilibres acido-basiques. Nous allons calculer le pH d'une eau de pluie.

La teneur en CO_2 de l'air, naturellement de 0,03 %, varie avec la température, la pression et le milieu (agglomération, industries, ...) et peut atteindre 0,10 %.

On considère de l'eau de pluie en équilibre avec le $\text{CO}_{2(\text{g})}$ de l'atmosphère, à 298 K, la pression totale étant de 1 bar et la pression partielle de $\text{CO}_{2(\text{g})}$ étant $P(\text{CO}_2) = 35 \cdot 10^{-5}$ bar (soit une teneur en CO_2 de 0,035 %). Calculer à 298 K :

- La concentration en $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ dans l'eau de pluie.
- Le pH de l'eau de pluie, en considérant que le dioxyde de carbone est le seul responsable de la valeur que prend le pH de l'eau de pluie.
Pour ce calcul, on pourra émettre l'hypothèse que l'on peut n'envisager que la première acidité de $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ puis on vérifiera, rapidement, cette hypothèse.
- Comment évolue qualitativement ce pH lorsque la teneur en $\text{CO}_{2(\text{g})}$ de l'atmosphère atteint 0,10 % ?
- Citer une autre espèce chimique responsable des « pluies acides ».

A-3- Le rôle du CO_2 dans la dégradation des ouvrages en béton armé

L'un des problèmes causés par un taux de CO_2 accru dans l'atmosphère est la dégradation accélérée des ouvrages en béton armé. Le CO_2 intervient en effet dans cette dégradation via la carbonatation qu'il induit.

A-3-1- Le béton : un milieu très fortement basique

La prise du ciment pour fabriquer du béton s'effectue lorsque l'on verse de l'eau sur un mélange composé de poudre de ciment et de charge (sable et granulat).

Elle consiste en un durcissement conduisant, à partir du silicate tricalcique (Ca_3SiO_5) du ciment, à la formation de deux espèces chimiques : le silicate tricalcique hydraté ($\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) et l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$.

C'est l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ qui confère au béton son caractère basique.

L'ordre de grandeur du pH dans le béton est donné par le pH d'une solution aqueuse saturée en $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$.

- Ecrire la réaction de dissolution de $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$ dans l'eau pure.
- Exprimer la concentration de chacun des ions présents en fonction de la solubilité de $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$. Calculer cette solubilité.
- Calculer le pH de la solution saturée.

A-3-2- La carbonatation du béton

Dans certains cas, le pH du béton descend en dessous de 8 suite à sa carbonatation. La pollution urbaine liée à l'humidité entraîne la dissolution du CO_2 atmosphérique dans l'eau à l'intérieur du béton et conduit à une réaction avec l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{s})}$.

Le produit qui en résulte est le carbonate de calcium ($\text{CaCO}_{3(\text{s})}$).

Ecrire l'équation-bilan de la réaction de carbonatation.

La principale conséquence de la carbonatation est l'amorce d'un phénomène de corrosion des armatures du béton armé.

Partie B : H₂ : un carburant propre ; Etude d'une pile à combustible

L'une des technologies permettant la production d'énergie, tout en limitant celle des gaz indésirables, est la pile à combustible. Nous étudierons ici une pile à combustible à membrane échangeuse d'ions H₃O⁺ (noté aussi H⁺_{aq}) dans laquelle le carburant utilisé est le dihydrogène.

B-1- Etude de la réaction dans une cellule

Une cellule de pile se compose de deux électrodes entre lesquelles est disposée une membrane électrolyte polymère. La température de fonctionnement est comprise entre 60 et 90 °C, afin que la membrane conserve ses capacités de rétention d'eau.

Les électrodes sont constituées de très petites particules de platine (2 à 3 nm) supportées par des poudres de carbone.

B-1-1 Modélisation simplifiée

Par soucis de simplification, nous symboliserons la pile par le schéma suivant :



- a- Ecrire le bilan des échanges électroniques se produisant :
 - à l'anode,
 - à la cathode.
- b- En déduire l'équation-bilan de la réaction de fonctionnement de la pile étudiée.
- c- Calculer la force électromotrice de cette pile si la température est maintenue à 333 K et les pressions en H_{2(g)} et O_{2(g)} à 1 bar (on prendra $RT \ln 10 / F = 0,066 \text{ V}$ à 333 K et on considèrera que les potentiels standard conservent les mêmes valeurs qu'à 298 K).
- d- Préciser le rôle de la membrane électrolyte polymère ; pourquoi est-il nécessaire qu'elle conserve ses capacités de rétention d'eau ?

B-2- Association des cellules en série

Lorsque la pile débite une densité de courant de 0,5 A/cm², la tension aux bornes d'une cellule est d'environ 0,7 V. (Ne vous inquiétez pas de l'écart à la valeur calculée à la question B-1-1)

B-2-1 Quel est le nombre minimal de cellules, d'une surface efficace de 250 cm², à associer en série pour obtenir une puissance de 75 kW nécessaire au fonctionnement d'un moteur électrique ?

B-2-2 Cette association fonctionne pendant 1 h. Quelle masse de dihydrogène a été consommée ?

Partie D : Le problème du stockage

D-1- Différentes techniques de stockage

Le stockage reste pour l'instant au centre des problèmes que pose l'utilisation du dihydrogène à bord d'un véhicule.

Les constructeurs demandent en effet une autonomie de 500 km environ ; compte-tenu du pouvoir calorifique du dihydrogène **il est nécessaire d'en stocker 5 kg**.

Nous allons tenter de comparer différentes formes de stockage.

D-1-1 Stockage sous forme comprimée

Le stockage du dihydrogène gazeux sous forme comprimée se fait sous une pression de 350 bar à une température de 298 K dans un réservoir composite.

- a- Calculer le volume de réservoir nécessaire aux 500 km d'autonomie en considérant qu'il est égal au volume occupé par le dihydrogène gazeux.
- b- Calculer la masse du réservoir en considérant sa masse volumique égale à 400 kg.m^{-3} .

D-1-2 Stockage cryogénique

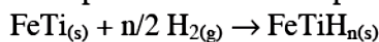
Le stockage sous forme liquide se fait à une température de 20 K (-253 °C) sous une pression de 10 bar. Le réservoir utilisé a la même masse volumique que précédemment. Dans ces conditions, la masse volumique du dihydrogène liquide est $\rho(\text{H}_{2(l)}) = 70,8 \text{ kg.m}^{-3}$.

- a- Calculer le volume de réservoir nécessaire aux 500 km d'autonomie en considérant qu'il est égal au volume occupé par le dihydrogène liquide.
- b- Calculer sa masse.

D-1-3 Stockage sous forme d'hydrure

On peut aussi envisager de stocker le dihydrogène à l'état condensé sous forme d'hydrure. Le dihydrogène est alors absorbé par le substrat.

Nous prendrons ici l'exemple de l'absorption du dihydrogène par l'alliage FeTi selon la réaction :



L'alliage FeTi a une maille cubique simple avec un atome de titane à chaque sommet du cube et un atome de fer au centre du cube. Les atomes d'hydrogène viennent se loger au centre de chaque face.

- a- Représenter la maille ainsi décrite.
- b- Dénombrer le nombre d'atomes de chaque espèce à l'intérieur de la maille.
- c- En déduire la formule de l'hydrure lorsqu'un atome d'hydrogène occupe le centre de chaque face.

En réalité la formule de l'hydrure est $\text{FeTiH}_{1,9}$.

- d- Quelle masse d'alliage doit-on utiliser pour stocker les 5 kg de dihydrogène nécessaires aux 500 km d'autonomie ?
- e- La masse volumique de l'alliage FeTi est égale à 6530 kg.m^{-3} . Calculer le volume de réservoir nécessaire aux 500 km d'autonomie.

D-1-4 Comparer les différents modes de stockage.

Partie III Oscillateurs en électronique

Nous nous intéressons dans ce problème aux oscillateurs, systèmes électroniques au cœur de très nombreux objets qui nous entourent au quotidien : montre, voiture, radio, ordinateur, etc... Quelle que soit l'application, l'objectif d'un oscillateur est le même : générer un signal de période stable, de caractéristiques spectrales choisies, sans aucun signal d'entrée. Deux réalisations sont proposées dans ce problème : en première partie, un oscillateur quasi-sinusoïdal et en seconde partie un oscillateur à relaxation.

Les deux parties sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

Partie I – Réalisation d'un oscillateur quasi-sinusoïdal

Il est parfois intéressant d'avoir des systèmes électroniques instables, notamment en électronique, pour pouvoir réaliser des oscillateurs. On rappelle que ce type de structure peut être réalisé en associant un amplificateur et un filtre comme présenté en **figure 4**.

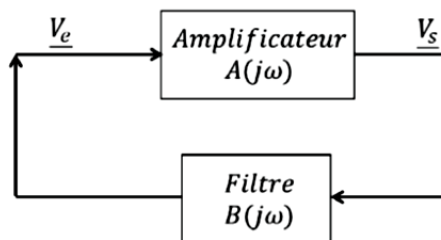


Figure 4 – Structure d'un oscillateur

Nous étudions dans cette partie l'oscillateur à filtre de Wien (**figure 5**).

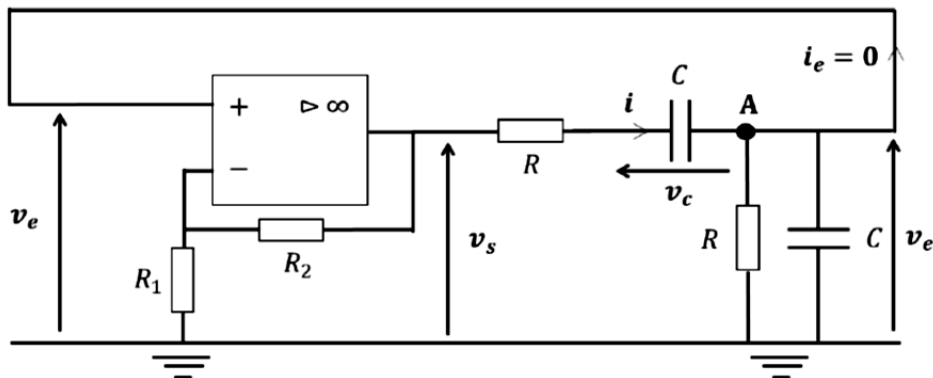


Figure 5 – Schéma électrique de l'oscillateur à filtre de Wien

I.1 – Généralités

Q50. Reproduire le schéma sur votre copie et identifier la partie amplificatrice ainsi que la partie filtre de cet oscillateur.

Q51. Justifier pourquoi le courant noté i_e sur le schéma peut être considéré comme nul dans la suite de l'étude.

I.2 – Étude du filtre de Wien

- Q52.** Quelle est la relation entre la dérivée de la tension v_c aux bornes du condensateur par rapport au temps et le courant i le traversant ? Cette équation sera nommée « **E1** » sur votre copie.
- Q53.** Par une loi des nœuds au point A, exprimer le courant i en fonction de la tension v_e et de sa dérivée par rapport au temps. Cette équation sera nommée « **E2** » sur votre copie.
- Q54.** Par une loi des mailles, exprimer la tension v_s en fonction de v_e , R , i et v_c . Cette équation sera numérotée « **E3** » sur votre copie.
- Q55.** En utilisant les équations **E1** et **E2**, montrer que l'on obtient l'expression suivante en précisant l'expression de la constante de temps τ :

$$\frac{dv_s}{dt} = \tau \frac{d^2 v_e}{dt^2} + 3 \frac{dv_e}{dt} + \frac{v_e}{\tau}. \quad (7)$$

I.3 – Amplificateur

- Q56.** En étudiant le fonctionnement de l'amplificateur linéaire intégré présent dans le schéma de la figure 5 page 9, en déduire la valeur de l'amplification $A = \frac{v_s}{v_e}$ en fonction des résistances R_1 et R_2 .

I.4 – Conditions d'oscillation

- Q57.** Montrer que l'on obtient l'équation différentielle suivante vérifiée par la tension v_s en fonction de τ et de l'amplification A :

$$\tau^2 \frac{d^2 v_s}{dt^2} + \tau(3 - A) \frac{dv_s}{dt} + v_s = 0. \quad (8)$$

- Q58.** Par analyse de cette équation, quelle condition doit-on satisfaire pour obtenir une oscillation harmonique ? Une analogie avec la mécanique peut guider votre raisonnement si nécessaire.
- Q59.** Quelle est alors la fréquence d'oscillation que l'on notera f_0 ?
- Q60.** D'où provient l'énergie nécessaire pour garantir l'oscillation ?

I.5 – Qualité du signal fourni

Nous nous intéressons à présent à la qualité du signal fourni par cet oscillateur. En figures 6 et 7 sont présentées l'allure temporelle de la tension v_e ainsi que sa décomposition spectrale.

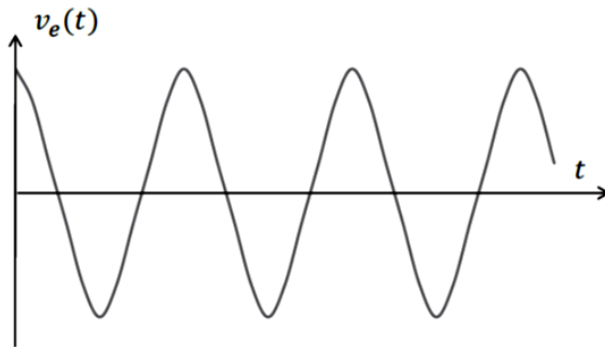


Figure 6 – Allure temporelle de la tension v_e

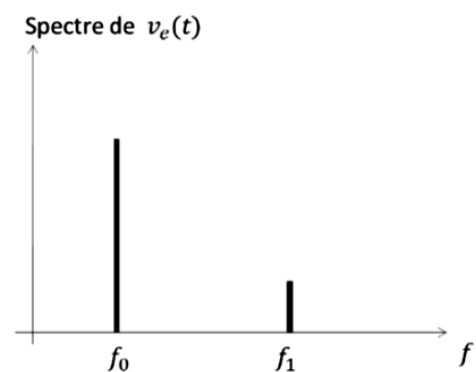


Figure 7 – Décomposition spectrale de la tension v_e

- Q61.** Peut-on considérer le signal fourni comme sinusoïdal ? Justifier.

Q62. On donne les fréquences $f_0 = 1 \text{ kHz}$ et $f_1 = 10 \text{ kHz}$. Comment pourrait-on améliorer la qualité de la tension v_e ? Une approche pratique est attendue en précisant les valeurs caractéristiques du dispositif mis en œuvre.

Partie II – Oscillateur à relaxation

Si l'on cherche à réaliser un signal d'horloge, il n'est pas nécessaire d'obtenir un signal sinusoïdal. On peut alors utiliser la structure de l'oscillateur à relaxation présentée en **figure 8**.

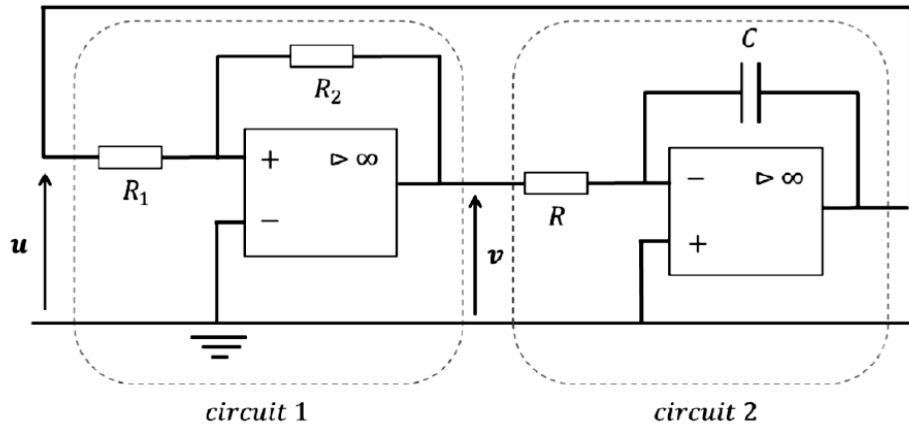


Figure 8 – Oscillateur à relaxation

On considère les amplificateurs linéaires intégrés idéaux (ALI idéaux) et on note $+V_{\text{sat}}$ et $-V_{\text{sat}}$ leurs tensions de saturation. À $t = 0 \text{ s}$, on suppose que la tension v vaut $+V_{\text{sat}}$ et que la tension u est nulle.

Tout d'abord, nous nous intéressons au circuit 1.

Q63. Préciser, en le justifiant, le mode de fonctionnement de l'ALI idéal. Quelles sont les valeurs que peut prendre la sortie v ?
 Pour quelle valeur de la tension d'entrée u , notée u_{seuil1} , la tension de sortie v bascule-t-elle de $+V_{\text{sat}}$ à $-V_{\text{sat}}$?

On admet que la tension de sortie v bascule de $-V_{\text{sat}}$ à $+V_{\text{sat}}$ pour une valeur de tension u_{seuil2} telle que $u_{\text{seuil2}} = -u_{\text{seuil1}}$.

Q64. Tracer la tension v en fonction de la tension u en annotant soigneusement le tracé.

Le circuit 2 est un montage intégrateur inverseur. On admet la relation entrée-sortie suivante :

$$\frac{du}{dt} = -\frac{v}{RC}. \quad (9)$$

Q65. Si la tension v est constante et vaut $+V_{\text{sat}}$, quelle est l'allure du signal d'entrée u ?

Étudions à présent le montage complet. Les chronogrammes des tensions u et v sont donnés en **figure 9**.

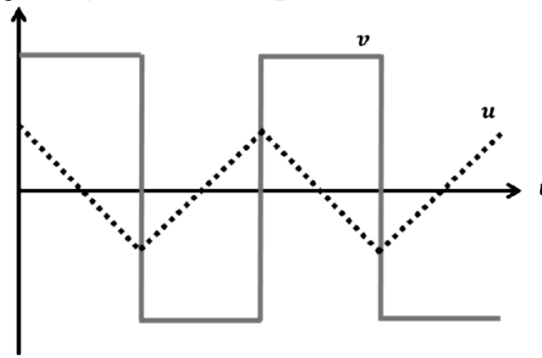


Figure 9 – Allures temporelles des signaux issus de l'oscillateur à relaxation

Q66. Exprimer la fréquence f de la tension u en fonction de R_1, R_2, R et C .

On souhaite obtenir un signal triangulaire d'amplitude $V_{max} = 2 \text{ V}$ et de fréquence $f = 1 \text{ kHz}$. On alimente les ALI en $\pm 15 \text{ V}$, ainsi $V_{sat} = 15 \text{ V}$. On impose d'utiliser les résistances R et R_2 telles que $R = R_2 = 1\,000 \, \Omega$.

Q67. Déterminer les valeurs de la résistance R_1 et du condensateur C pour répondre au cahier des charges.

Q68. Quelle caractéristique de l'ALI peut limiter la fréquence de fonctionnement d'un tel montage ?