

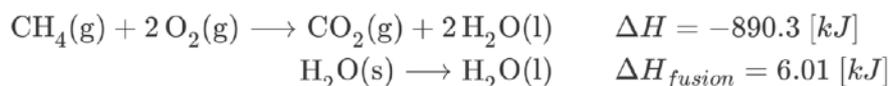
DS 2 : Calorimétrie

Applications de l'ALI

EXERCICE 1 : Calorimétrie

A) Mesurer un bilan enthalpique de réaction chimique par fusion de glace

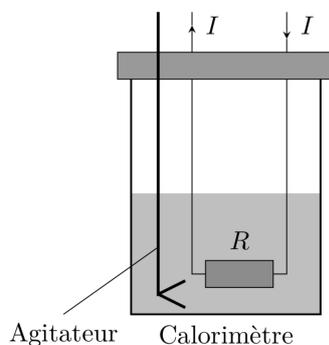
Un calorimètre à glace permet de mesurer des quantités de chaleur en déterminant la quantité de glace fondue. Combien de grammes de glace peut-on faire fondre grâce à la chaleur libérée par la combustion de 875 mL de CH_4 gazeux, mesurés à 25°C et à 99.7 kPa ?



Rappel : lors d'une transformation monobare dans un calorimètre : $\Delta H_{\text{TOT}} = Q$ et pour un calorimètre parfaitement calorifugé (parois athermanes) $Q = 0$ kJ

B) Calorimètre réel (prise en compte des fuites thermiques)

Un calorimètre est constitué d'une enceinte dans laquelle sont placés des accessoires comme un agitateur (A) et une résistance électrique R reliée à un circuit extérieur, permettant d'y faire circuler un courant électrique. On désigne par C la capacité thermique totale de ces accessoires. L'agitateur permet d'homogénéiser la température Θ (en $^\circ\text{C}$) du contenu de l'enceinte.



Toutes les phases condensées sont supposées idéales. On néglige la capacité thermique de l'air enfermé dans le calorimètre devant celle de l'eau et des accessoires. On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide, supposée constante :

$$c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$$

Le calorimètre contient initialement une masse $m_1 = 95 \text{ g}$ d'eau liquide et le dispositif est en équilibre thermique à la température $\Theta_1 = 20^\circ\text{C}$. On suppose dans un premier temps que le calorimètre est parfait, c'est à dire que ses parois sont adiabatiques. Aucun courant ne circule dans la résistance. Après avoir ajouté une masse $m_2 = 71 \text{ g}$ d'eau à la température $\Theta_2 = 50^\circ\text{C}$, on constate que la température finale du dispositif se stabilise à $\Theta_f = 31,3^\circ\text{C}$.

- Q.1** À l'aide du premier principe, déterminer C en fonction m_1 , m_2 , Θ_1 , Θ_2 , Θ_f et c_{eau} . En déduire la valeur en eau μ du calorimètre, définie par $C = \mu c_{\text{eau}}$. Faire l'application numérique.

Le calorimètre est entièrement vidé de l'eau qu'il contient et on y introduit une masse $m_0 = 83 \text{ g}$ d'éthanol de capacité thermique massique c_0 . À partir de $t = 0$, on fait circuler un courant électrique d'intensité $I = 1,40 \text{ A}$ constante dans la résistance $R = 5,0 \Omega$ dont la valeur est indépendante de la température.

- Q.2** Faire un bilan énergétique pendant l'intervalle de temps dt et en déduire l'équation différentielle vérifiée par $\Theta(t)$.
- Q.3** On constate que la température s'est élevée de $9,2^\circ\text{C}$ au bout de $\tau = 120 \text{ s}$. En déduire la capacité thermique massique c_0 de l'éthanol.

En fait, le calorimètre n'est pas parfait et il faut tenir compte des "fuites thermiques". Entre les instants t et $t + dt$, le contenu du calorimètre échange avec le milieu extérieur une chaleur δQ pouvant s'écrire :

$$\delta Q = K (\Theta(t) - \Theta_a) dt$$

où $K = 0,48 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ est une constante, Θ la température dans l'enceinte à l'instant t et Θ_a la température de l'atmosphère extérieure, supposée constante. On suppose qu'à $t = 0$, $\Theta(0) = \Theta_1 = \Theta_a = 20^\circ\text{C}$.

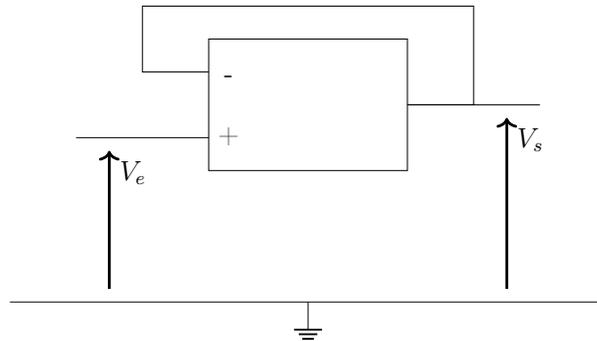
- Q.4** Comment est modifiée l'équation différentielle de la **Q.2** ?
- Q.5** En déduire $\Theta(t)$ et en donner une représentation schématique en fonction du temps. Quelle est la température limite atteinte par le contenu de l'enceinte ? Faire l'application numérique.

EXERCICE 2 : Compteur d'impulsions analogique

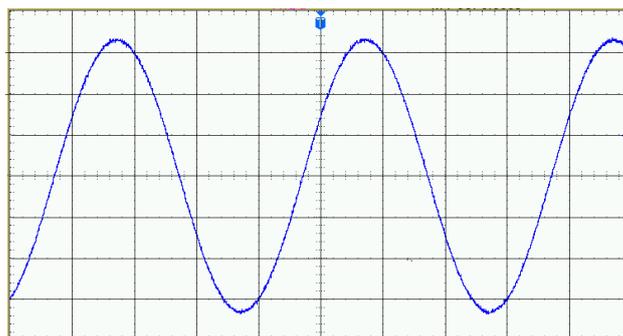
A. GENERALITES SUR LES ALI (15%)

Dans cette partie, on considère un ALI alimenté en $+15/-15 \text{ Volts}$ par une alimentation à point milieu. On admettra que les tensions de saturation haute et basse sont $+/-15 \text{ Volts}$.

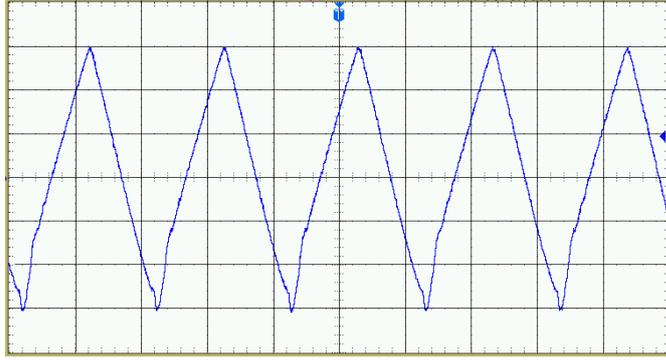
- 1.** Représenter la tension de sortie en fonction de la tension différentielle d'entrée, en indiquant clairement les ordres de grandeur considérés (on indiquera la partie correspondant au régime linéaire et celle correspondant au régime saturé).
- 2.** On s'intéresse au montage représenté ci-dessous. Montrer que $V_s = V_e$. Comment s'appelle ce montage ? Quel est son intérêt ? (on considérera le gain de l'ALI comme infini)



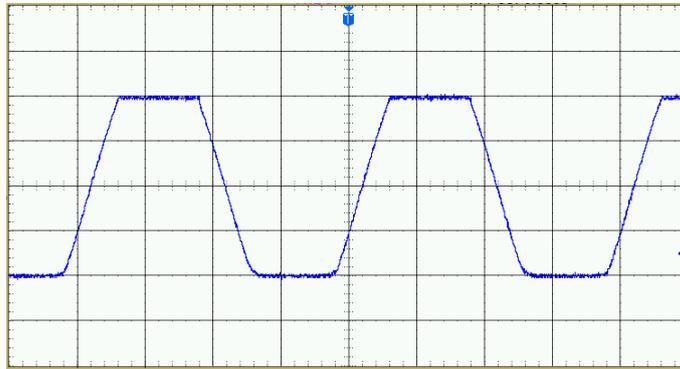
- 3.** On alimente ce montage avec en entrée la tension dont l'oscillogramme est donné ci-dessous. Les réglages sont 2V/div et $100\mu\text{s/div}$, quelles sont les caractéristiques de cette tension ? Peut-on raisonnablement penser observer la même chose en sortie ?



4. Toutes choses égales par ailleurs, on augmente la fréquence et on observe en sortie la tension ci-dessous. Les réglages sont $2V/div$ et $1\mu s/div$. Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence? Evaluer sa valeur numérique.



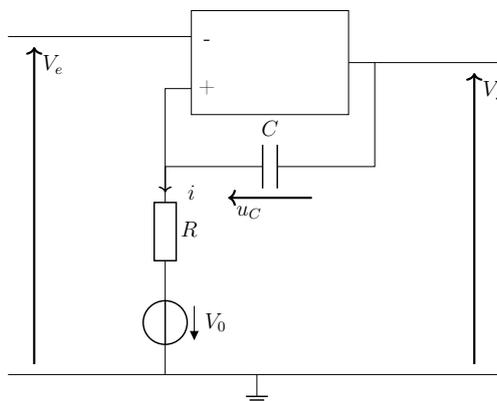
5. On revient à la fréquence de la question 3, et on ajoute une résistance de charge $R_0 = 50\Omega$ entre la sortie et la masse. Les réglages sont $2V/div$ et $100\mu s/div$. Quelle caractéristique de l'ALI est ainsi mise en évidence? Evaluer sa valeur numérique.



6. Donner le schéma d'un montage amplificateur non inverseur utilisant un ALI et 2 résistances. Etablir l'expression du gain de ce montage.
7. Proposer des valeurs pour les résistances pour avoir des gains de 10, 100 et 1000. Jusqu'à quelle valeur de gain peut-on aller avec un tel montage avec une tension d'entrée continue? Avec une tension d'entrée sinusoïdale de fréquence $10kHz$? (de simples ordres de grandeur sont attendus)
8. On alimente ce montage, en prenant un gain de 10, avec la tension d'entrée de la question 3. Dessiner l'allure de la tension attendue en sortie.

B. COMPTEUR D'IMPULSIONS (25%)

Le montage ci-dessous permet de réaliser un compteur d'impulsions analogique. L'ALI est alimenté en $+V_{cc} / -V_{cc}$ avec $V_{cc} = 7$ Volts par une alimentation à point milieu. Dans toute cette partie, il fonctionne en régime saturé et les tensions de saturation $+V_{sat}$ et $-V_{sat}$ sont considérées comme égales aux tensions d'alimentation $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$. On considérera que le temps de réponse de l'ALI est négligeable (on bascule de $+/-V_{sat}$ à son opposé de manière instantanée). On prend pour ce montage $R = 10k\Omega$, $C = 650nF$ et $V_0 = 1V$.

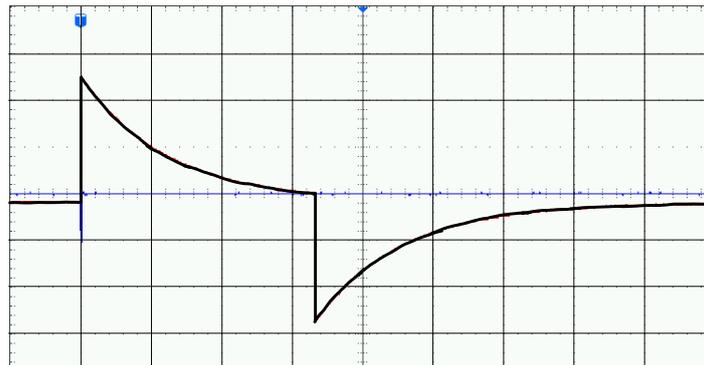


- 9.** Quelle est la valeur de i en régime stationnaire ? De V_+ ? Justifier le fait que $V_s = -V_{sat}$ en régime stationnaire si $V_e = 0$. Quelle est alors la valeur de u_C ?
- 10.** A $t = 0$, on envoie en entrée une impulsion *très brève* de durée Δt : V_e passe *instantanément* de 0 à -5 volts puis, un temps Δt plus tard, repasse à 0 (toujours *instantanément*). Représenter cette impulsion.
- 11.** Que signifie *très brève* pour Δt ? (Avec quelle grandeur caractéristique du circuit faut-il comparer). En déduire une condition sur Δt . Expliquer pourquoi la valeur de u_C ne varie quasiment pas entre $t = 0$ et $t = \Delta t$.
- 12.** Expliquer pourquoi le passage de V_e de 0 à -5 volts à $t = 0$ fait basculer la sortie à $+V_{sat}$, et pourquoi le retour à 0 à $t = \Delta t$ ne provoque pas un autre basculement.
- 13.** Montrer que, suite au basculement (on prend $t = 0$ au moment du basculement), u_C évolue de la manière suivante :

$$u_C = 2V_{sat} e^{(-t/\tau)} - (V_{sat} + V_0)$$

Donner l'expression de τ ainsi que son sens physique.

- 14.** A quel instant t_1 la sortie va-t-elle repasser en saturation basse ? Donner l'expression en fonction de R , C , V_{sat} et V_0 et faire l'application numérique. On donne $\ln(14) \simeq 2,6$.
On donne ci-dessous un enregistrement de la tension V_+ suite à une impulsion. L'instant $t = 0$ est décalé à une division après la gauche de l'écran. Les réglages sont $5V/div$ et $5ms/div$.



- 15.** Expliquer les deux phases observées dans l'évolution de cette tension (expliquer en particulier la valeur minimale prise par V_+).
- 16.** Sur la même échelle de temps que l'enregistrement précédent, représenter l'évolution des tensions u_C et V_s .

Le montage reçoit en entrée des impulsions périodiques, toujours de largeur Δt et avec une période T , dans le but de pouvoir mesurer la fréquence f de ces impulsions.

- 17.** Quelle condition doit respecter T vis-à-vis des caractéristiques du montage ?
- 18.** Représenter sur un même graphe, sans échelle mais en respectant les conditions des questions 11 et 17, les tensions V_e et V_s (sur au moins une période T et au plus deux) . Indiquer clairement les trois temps caractéristiques.
- 19.** Donner l'expression de la valeur moyenne $\langle V_s \rangle$ de V_s en fonction de V_{sat} , f et t_1 .
- 20.** Quel type de filtre pourrait-on utiliser en aval du montage précédent pour obtenir $\langle V_s \rangle$? Préciser comment il doit être branché (faire un schéma) et proposer des valeurs pour ses composants si $f = 10 Hz$.
- 21.** On souhaite obtenir avec un voltmètre une tension directement proportionnelle à f . Expliquer comment compléter le montage en aval du filtre pour obtenir ce résultat.

EXERCICE 3 : Principe de la MLI et réalisation d'un générateur de tension « dent de scie »

MLI : Modulation de largeurs d'impulsion

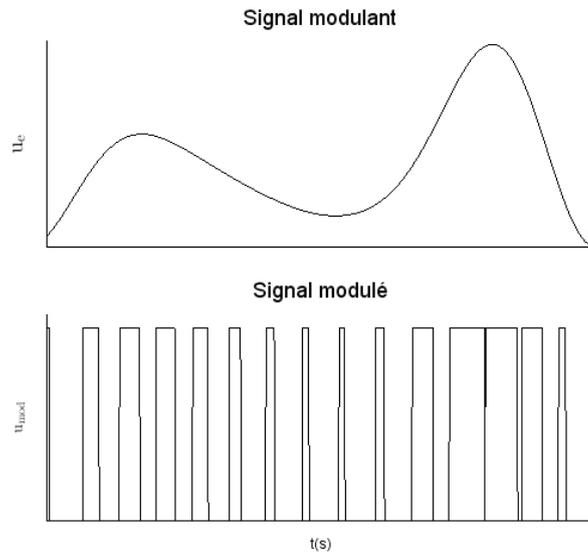


Figure A.1

Le principe consiste à générer des impulsions électroniques à intervalles régulières mais dont la largeur temporelle va dépendre d'un signal « modulant ». C'est la valeur de tension de ce signal qui va déterminer la largeur de l'impulsion (cf. Figure A.1).

A.1 - Modulation de largeur d'impulsion : réalisation analogique

On considère le montage de la figure Figure A.2 mettant en jeu un ALI supposé idéal auquel on applique :

- un signal modulant $u_e(t)$
- une tension « dent de scie » $u_{scie}(t)$ de période T dont l'allure temporelle est représentée Figure A.3.

Q1. Rappeler les caractéristiques d'un Amplificateur Linéaire Intégré idéal.

Q2. L'ALI fonctionne-t-il en régime linéaire ou en régime saturé ? Quelle fonction réalise un tel montage ?

La tension $u_{scie}(t)$ est une tension dite « dent de scie » (cf. Figure A.3). On note T la période de cette tension et U_{max} la tension maximale atteinte par $u_{scie}(t)$.

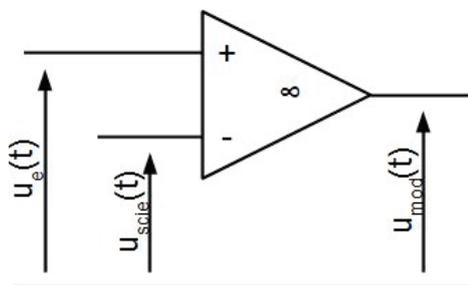


Figure A.2

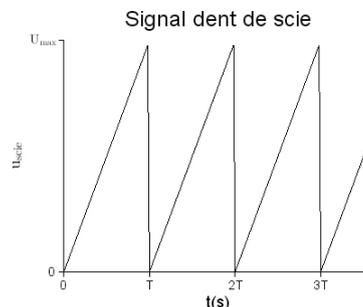


Figure A.3

Q3. Déterminer la pente a des rampes de la tension $u_{scie}(t)$ en fonction de T et U_{max} .

Q4. On considère un signal modulant continu : $u_e(t)=U_0$. Déterminer, les durées τ_+ et τ_- , correspondant respectivement aux temps passés en saturation haute et en saturation basse durant une période T en fonction de U_0 , U_{max} et T. Représenter graphiquement le signal $u_{mod}(t)$ en sortie de l'ALI entre $t=0$ et $t=3T$.

Q5. Que se passe-t-il si $U_0 > U_{max}$?

Q6. On considère maintenant comme signal modulant $u_e(t)$ un signal sinusoïdal de période $T_e = 5T$, de valeur basse 0 et de valeur haute U_{max} (atteinte pour $t=0$). On prendra $f_e = \frac{1}{T_e} = 1\text{kHz}$, la fréquence du signal modulant.

Q6.a. Donner l'équation horaire de $u_e(t)$.

Q6.b. Représenter le spectre de $u_e(t)$.

Q6.c. On a représenté en Annexe (Partie C : - A RENDRE AVEC LA COPIE) le signal $u_e(t)$ (Figure C.1) sur une période. Représenter sur le même graphique les signaux $u_{scie}(t)$ et $u_{mod}(t)$. On note V_{sat} la tension de saturation positive de l'ALI. On prendra pour le tracé graphique : $V_{sat} = U_{max}/2$

Q6.d. On réalise expérimentalement la modulation de largeur d'impulsion. Pour savoir comment obtenir le signal modulant à partir du signal modulé (démodulation), on observe le spectre du signal. Celui-ci est donné Figure A.4 - l'échelle des amplitude est arbitraire. Proposer, en le justifiant, le type de filtre permettant de démoduler le signal $u_{mod}(t)$.

Spectre du signal modulé

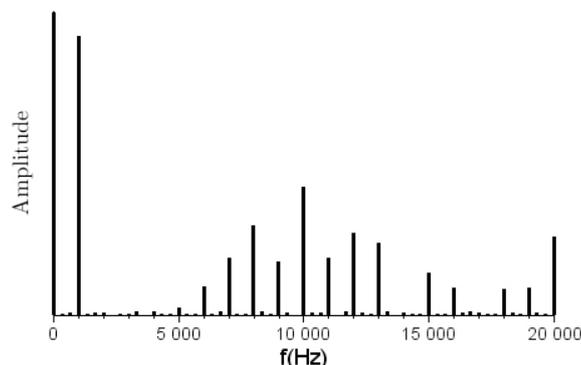


Figure A.4

A.2 - Réalisation d'un signal « dent de scie »

Le principe de cette modulation est basé sur l'utilisation d'un signal dent de scie. On se propose ici d'étudier une façon de créer un tel signal. On considère le montage suivant (les ALI sont supposés idéaux) :

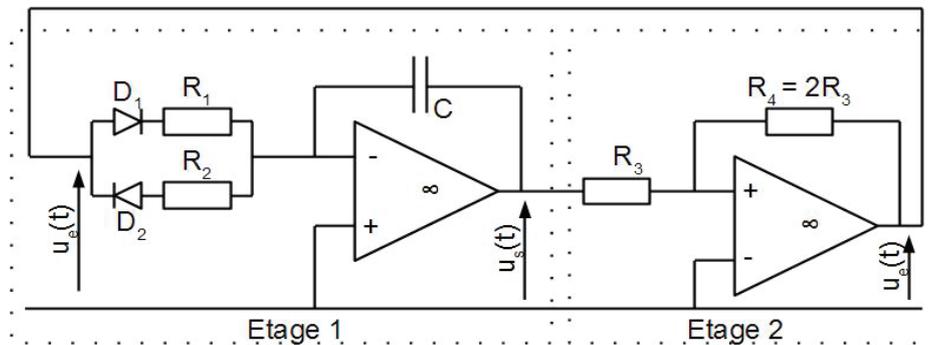


Figure A.5 :

Q7. Rappeler les ordres de grandeurs des impédances d'entrée et de sortie réelles d'un ALI.

Q8. Expliquer brièvement pourquoi on peut commencer par étudier les deux étages 1 et 2 représentés sur le schéma séparément.

Q9. On considère l'étage 1. On admet que :

- Quand le signal $u_e(t)$ est positif, la diode D_2 est assimilable à un interrupteur ouvert et la diode D_1 à un fil.
- Quand le signal $u_e(t)$ est négatif, la diode D_2 est assimilable à un fil et la diode D_1 à un interrupteur ouvert.

Q9.a. Déterminer l'équation différentielle qui relie $u_s(t)$ et $u_e(t)$ quand $u_e(t)$ est positive. Comment appelle-t-on un tel montage ?

Q9.b. Déterminer l'équation différentielle qui relie $u_s(t)$ et $u_e(t)$ quand $u_e(t)$ est négative.

Q10. On considère maintenant l'étage 2.

Q10.a. Expliquer pourquoi on sait que l'ALI de l'étage 2 va fonctionner en régime de saturation.

Q10.b. On suppose que la sortie est en saturation haute $u_e = V_{sat}$. Déterminer les gammes de valeurs possibles pour u_s .

Q10.c. On suppose que la sortie est en saturation basse $u_e = -V_{sat}$. Déterminer les gammes de valeurs possibles pour u_s .

Q10.d. Représenter la caractéristique de transfert $u_e(u_s)$. Comment appelle-t-on un tel montage ?

On considère maintenant le montage entier. Il n'y a pas de « tension d'entrée » et la tension de sortie est la tension $u_s(t)$.

Q11. On suppose que, à $t=0$, l'étage 2 vient de basculer en saturation haute $u_e = V_{sat}$.

Q11.a. Déterminer $u_s(t=0)$ puis l'équation littérale horaire de $u_s(t)$ pour $t > 0$

Q11.b. Déterminer la date t_1 à laquelle l'étage 2 va basculer en saturation basse. On note Δt_{haut} la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation haute. Expliciter littéralement Δt_{haut}

Q12. A $t = t_1$, l'étage 2 vient donc de basculer en saturation basse.

Q12.a. Déterminer l'expression littérale de $u_s(t)$ pour $t > t_1$

Q12.b. Déterminer la date t_2 à laquelle l'étage 2 va basculer à nouveau en saturation haute. On note Δt_{bas} , la durée pendant laquelle l'étage 2 est en saturation basse. Déterminer littéralement Δt_{bas} et la période T du signal $u_s(t)$.

Q13. Représenter sur le graphique Figure C.2 fourni dans l'Annexe (Partie C : - A RENDRE AVEC LA COPIE) les signaux $u_s(t)$ et $u_e(t)$ en supposant $\Delta t_{bas} = 19 \Delta t_{haut}$

Q14. On veut créer un signal dent de scie de fréquence $f=1\text{MHz}$. On choisit $C=10\text{pF}$. De plus, pour que le signal ressemble le plus au signal dent de scie de la Figure A.2, on fixe $\Delta t_{bas} = 19 \Delta t_{haut}$. Déterminer les valeurs de R_1 et R_2 en fonction de C et f. Faire l'application numérique.

FIN DE L'ENONCE

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

Partie C : ANNEXESA RENDRE AVEC LA COPIE

C.1 - Modulation de largeur d'impulsion – Question Q6.c.

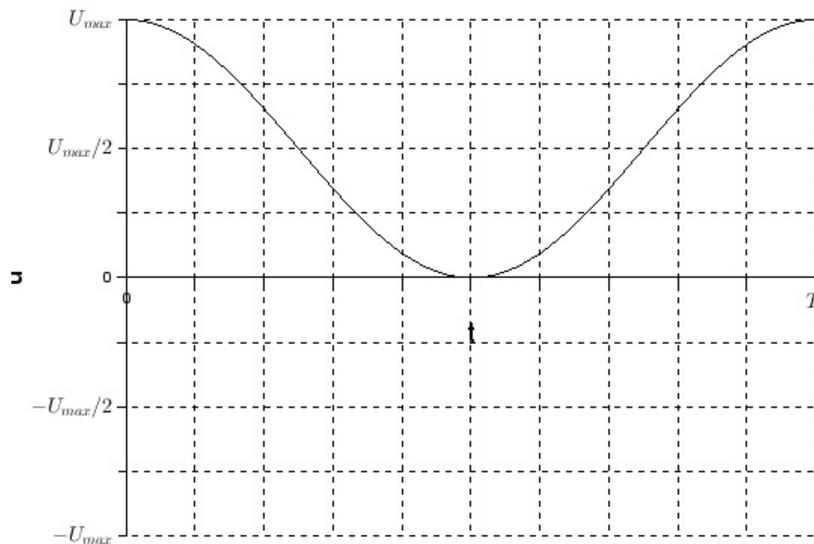


Figure C.1 : Chronogramme du signal $u_e(t)$ sur une période.

C.2 - Création d'un signal dent de scie – Question Q13.

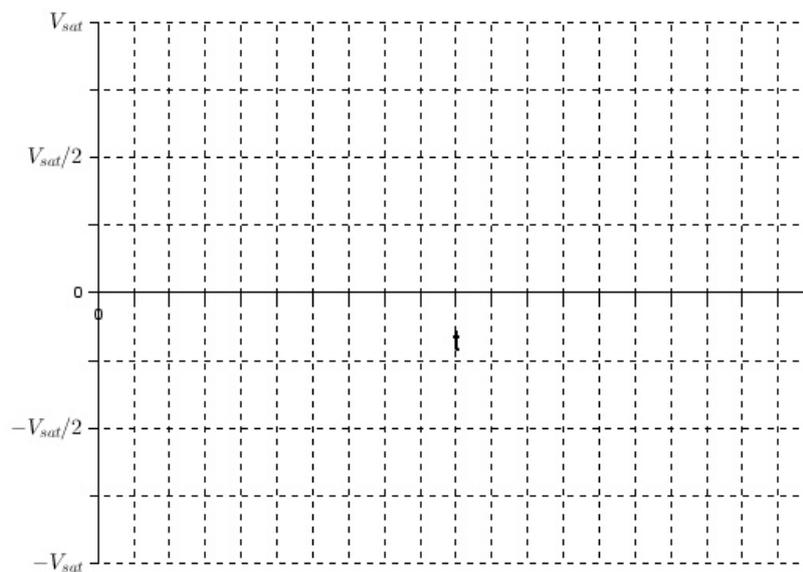


Figure C.2 : Chronogramme à compléter : on fera apparaître les grandeurs Δt_{haut} et Δt_{bas} .