

BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

"Génie Electronique"

Session 2010

Epreuve : PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 5

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

INSTRUMENTATION D'UN BATEAU A VOILE

Pour la navigation à voile, il est important de connaître certains paramètres (vitesse du vent, direction du vent, température de l'eau, ...) pour optimiser la vitesse du bateau. De plus, pour la sécurité, il est nécessaire d'éviter les écueils et bancs de sable.

L'instrumentation électronique embarquée permet de donner différentes informations au skipper. En consultant la console d'affichage qui centralise l'ensemble des données envoyées par les capteurs, il pourra adapter les manœuvres et les réglages du bateau.

Pour alimenter les systèmes électroniques, une batterie, rechargée par une éolienne, fournit l'énergie nécessaire.

La figure 1 indique la position des différents éléments.

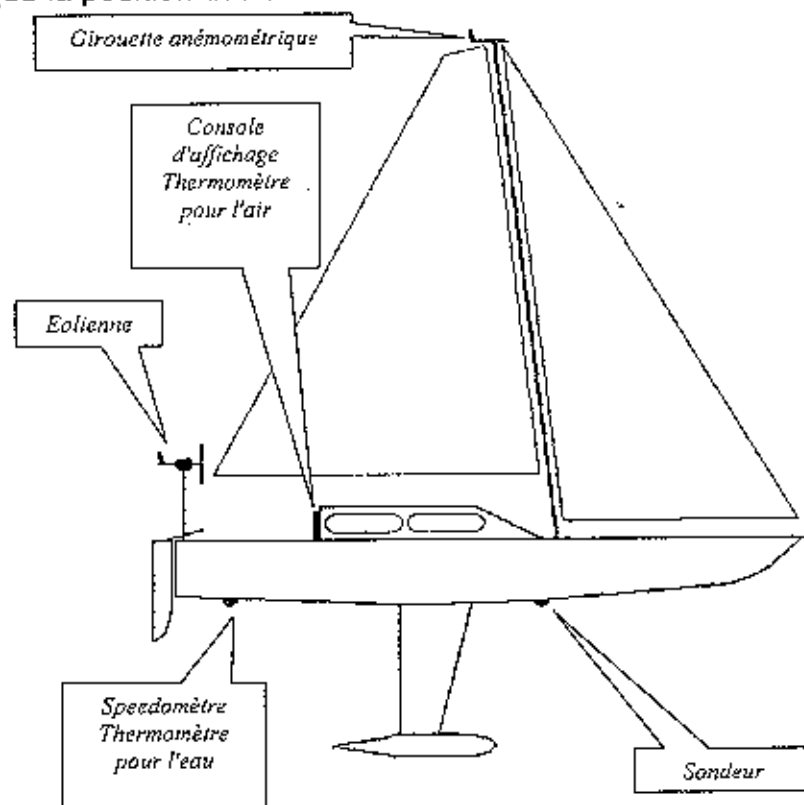


Figure 1

La console d'affichage est présentée sur la figure 2, ci-contre.

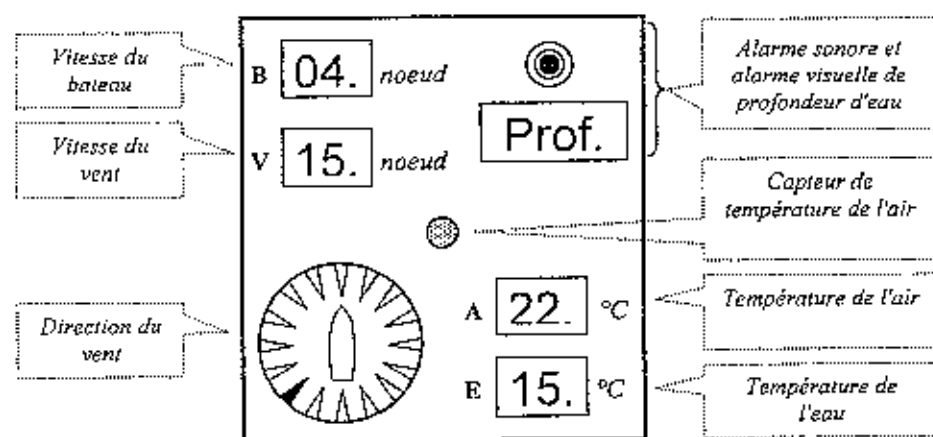


Figure 2

Le rôle de chaque élément est le suivant :

- ⇒ L'éolienne recharge la batterie de bord, qui fournit l'énergie aux systèmes électroniques.
- ⇒ Le speedomètre ou "loch" mesure la vitesse du bateau et comporte un capteur de température de l'eau.
- ⇒ Le sondeur détermine la profondeur d'eau sous le bateau.
- ⇒ La girouette anémométrique (**non étudiée**) donne la direction et la vitesse du vent.
- ⇒ La console d'affichage comporte un capteur de température de l'air (**non étudié**) et affiche l'ensemble des mesures effectuées.

Chaque capteur, sauf le sondeur, envoie un nombre à la console d'affichage. Celle-ci traite les grandeurs numériques reçues et donne les valeurs des grandeurs physiques mesurées grâce aux différents afficheurs.

Le sondeur actionne une alarme sonore et une alarme visuelle lorsque la profondeur d'eau sous le bateau devient trop faible.

Informations générales:

Tous les composants sont considérés comme parfaits:

- Les circuits intégrés logiques sont alimentés sous la tension $V_{DD} = 12 \text{ V}$. Ils ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. Leur tension de sortie peut être égale à 0 V ou à 12 V.
- Les amplificateurs opérationnels notés **AO1**, **AO2** et **AO3** sont alimentés sous les tensions $+V_{DD} = +12 \text{ V}$ et $-V_{DD} = -12 \text{ V}$. Ils ont des impédances d'entrée infinies et une impédance de sortie nulle. Leurs tensions de saturation sont égales à -12 V ou à +12 V.
- L'amplificateur opérationnel noté **AO4** est alimenté sous les tensions 0 V et $V_{DD} = +12 \text{ V}$. Il a une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. Ses tensions de saturation sont égales à 0 V ou à +12 V.
- Les diodes sont supposées idéales: elles sont assimilables à des interrupteurs idéaux.
- Les grandeurs instantanées $u(t)$ et $i(t)$ seront notées u et i .

A - Charge de la batterie.

La batterie de bord est rechargée par une éolienne, fixée à l'arrière du bateau. Dans la documentation fournie par le constructeur, on dispose d'une courbe (**figure 3, page 4**) qui donne la puissance P fournie par l'éolienne, en W, en fonction de la vitesse du vent v , en m.s^{-1} .

Pour que cette éolienne recharge la batterie, il faut que la puissance fournie soit au minimum égale à 120 W : $P_{\min} = 120 \text{ W}$.

- A.1. Donner l'intervalle de vitesse du vent pour lequel la batterie est rechargée par l'éolienne.

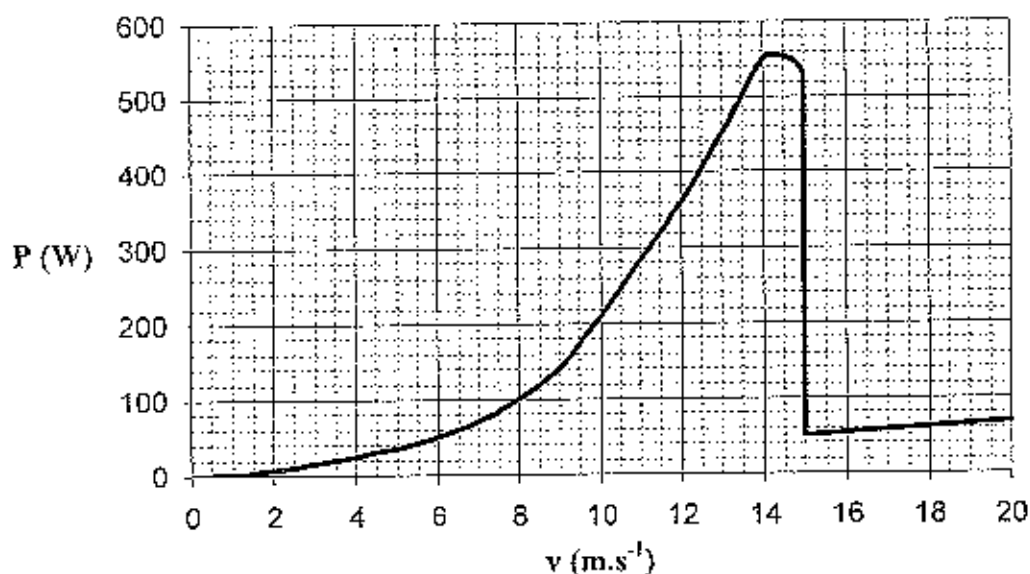


Figure 3

La batterie se charge sous la tension $V_{DD} = 12 \text{ V}$.

A.2. Pour $v = 12 \text{ m.s}^{-1}$, donner la puissance P fournie par l'éolienne.

A.3. En déduire la valeur de l'intensité I du courant de charge de la batterie.

B - Température de l'eau.

La figure 4 donne le schéma fonctionnel de la chaîne de mesure.

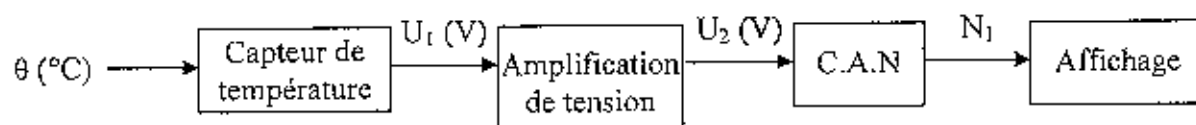


Figure 4

Un capteur linéaire est utilisé pour convertir la température θ (°C) en une tension U_1 (V). Celle-ci est ensuite amplifiée pour obtenir la tension U_2 (V), qui est ensuite convertie en un nombre N_1 pour affichage.

B.1. Capteur de température.

L'étude du capteur linéaire a permis de tracer la courbe de la tension U_1 en fonction de la température θ , comprise entre 0 °C et 25,5 °C (figure 5, page 5).

Cette courbe $U_1 = f(\theta)$ est une droite, dont l'équation s'écrit : $U_1 = a \cdot \theta + b$.

B.1.1. Donner la valeur de la constante b .

B.1.2. Donner la valeur et l'unité de la constante a .

B.1.3. Pour $\theta = 15 \text{ °C}$, calculer la valeur de la tension U_1 .

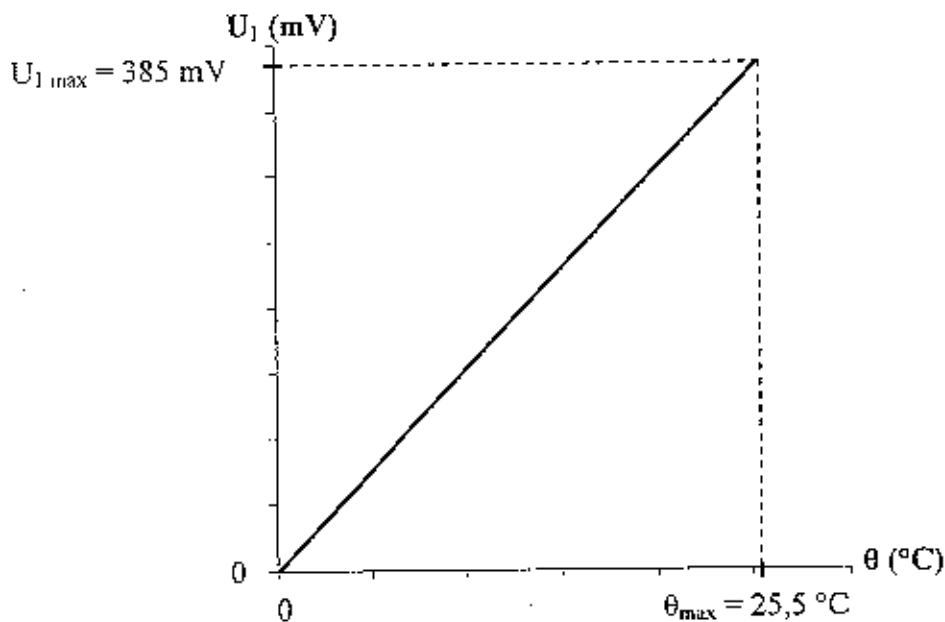


Figure 5

B.2. Amplification de la tension.

La tension U_1 est appliquée à l'entrée du montage de la figure 6.
On donne $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$.

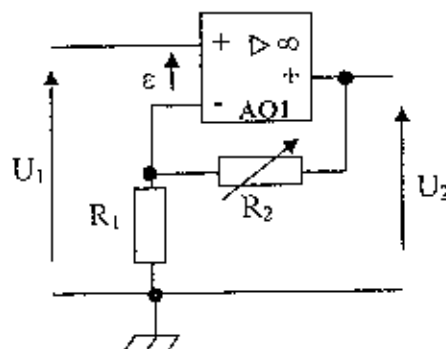


Figure 6

- B.2.1. Quel est le mode de fonctionnement de AO1 ? Pourquoi ?
- B.2.2. Le montage de la figure 6 est-il inverseur ou non-inverseur ? Pourquoi ?
- B.2.3. Donner l'expression de la tension U_2 en fonction de R_1 , R_2 et U_1 .
- B.2.4. Pour $U_{1\max} = 385 \text{ mV}$, on désire obtenir $U_{2\max} = 5 \text{ V}$. A quelle valeur faut-il régler la résistance R_2 ?
- B.2.5. R_2 étant réglée à la valeur précédente, calculer la valeur de la tension U_2 pour $\theta = 15 \text{ °C}$?

B.3. Conversion et affichage.

Quand la tension U_2 est maximale ($U_{2\max} = 5 \text{ V}$), le nombre N_1 en sortie du C.A.N doit être égal à 255 et l'afficheur indique "25,5". Lorsque la tension U_2 est nulle, le nombre N_1 doit être nul et l'afficheur indique "00,0".

- B.3.1. Un C.A.N de 8 bits est-il suffisant pour la conversion réalisée ? Pourquoi ?
- B.3.2. Pour $\theta = 15 \text{ °C}$, donner la valeur du nombre N_1 .

C - Vitesse du bateau.

Le speedomètre ou "loch" est composée d'une hélice dont la vitesse de rotation dépend de la vitesse v du bateau par rapport à l'eau. Des aimants sont noyés dans l'hélice en matière plastique et leur rotation devant une bobine fixée dans le boîtier du loch crée une tension périodique u_3 , de période T , conformément à la loi de Faraday.

Le chronogramme de cette tension périodique u_3 est donné sur le **document-réponse n°1, page 13.**

Le schéma synoptique du traitement de cette tension est donné sur la **figure 7.**

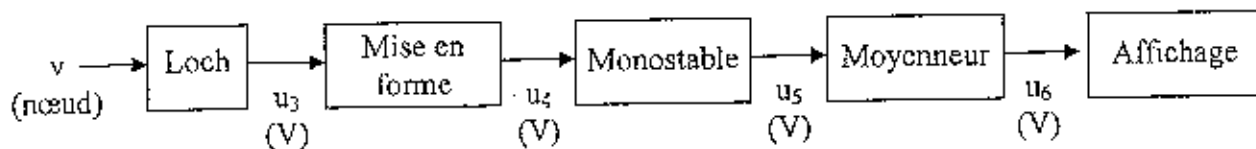


Figure 7

C.1. Mise en forme.

Le schéma du circuit de mise en forme est donné sur la **figure 8.**

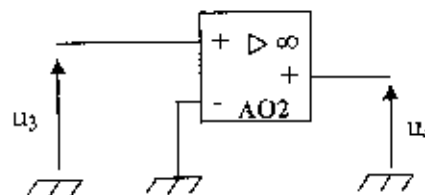


Figure 8

C.1.1. Donner le nom complet du montage.

C.1.2. Tracer le chronogramme de la tension u_4 sur le **document-réponse n°1 à rendre avec la copie.**

C.2. Monostable.

Le montage monostable reçoit la tension u_4 de période T .

Il génère une tension rectangulaire notée u_5 et son fonctionnement est décrit par les courbes de la **figure 9.**

La durée de l'état haut de la tension u_5 est $T_0 = 24,5$ ms

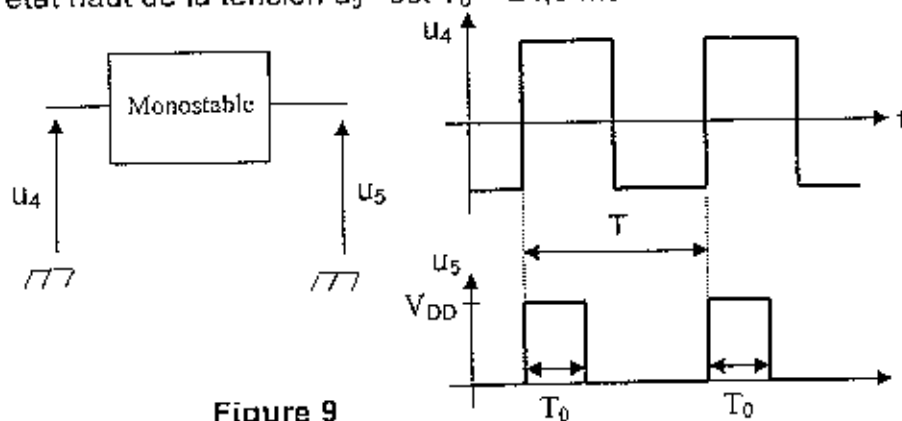


Figure 9

Tracer le chronogramme de la tension u_5 sur le **document-réponse n°1 à rendre avec la copie.**

C.3. Circuit moyennneur et affichage.

La tension u_6 de sortie de ce circuit correspond à la valeur moyenne de la tension d'entrée u_5 .

- C.3.1. Exprimer la tension u_6 en fonction de T_D , V_{DD} et T , puis en fonction de T_D , V_{DD} et f .
- C.3.2. Calculer la valeur de la tension u_6 pour la tension u_5 représentée sur le document-réponse n°1.

L'affichage est réalisé par un voltmètre qui indique la valeur "00.1" quand une tension de 100mV lui est appliquée.

- C.3.3. Donner la valeur affichée pour la tension u_5 représentée sur le document-réponse n°1.

D - Profondeur d'eau sous le bateau.

Un sondeur est fixé à l'extérieur de la coque, sous le bateau. Il émet un signal ultrason de courte durée. Celui-ci se propage dans l'eau et une partie se réfléchit sur le fond marin. La durée écoulée entre l'émission et la réception du signal permet de déterminer la profondeur d'eau sous la coque du bateau.

Sur la figure 10, on représente la profondeur d'eau d entre la coque du bateau et le fond marin.

La figure 11, page 8, donne le schéma synoptique de l'avertisseur de profondeur d'eau.

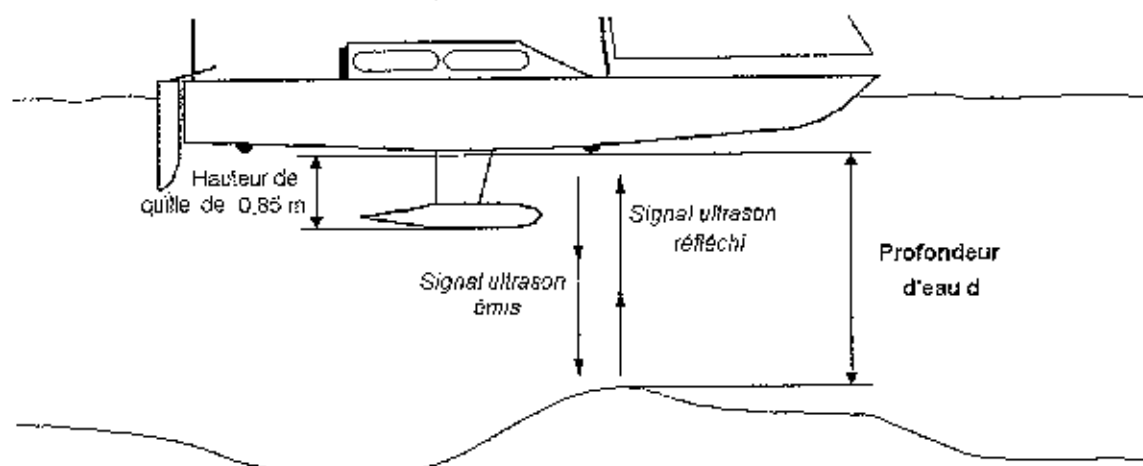
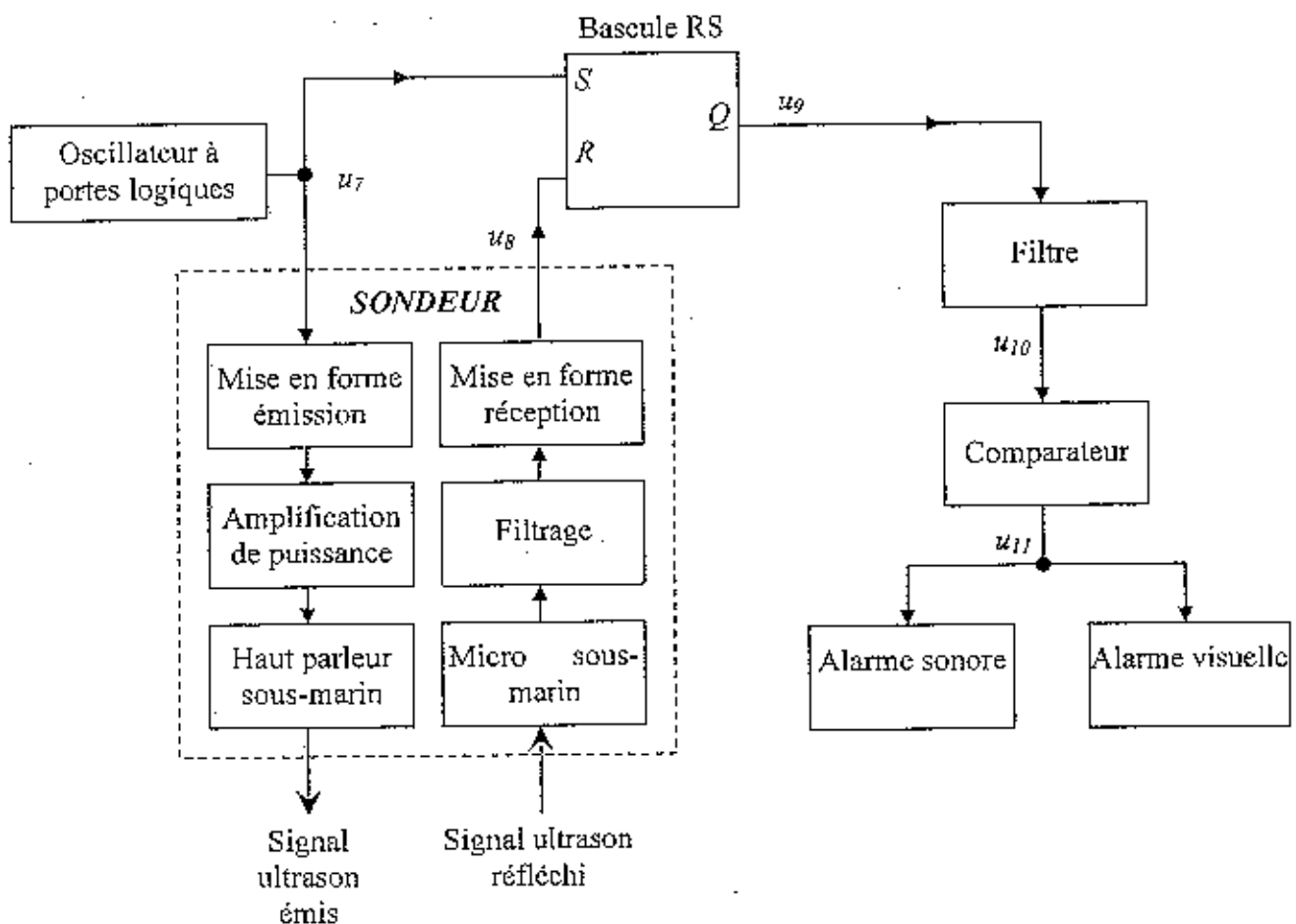


Figure 10

Le sondeur est soumis à une tension u_7 générée par un oscillateur à portes logiques. Il comporte un circuit de mise en forme et un circuit d'amplification de puissance.

Le signal ultrason est ensuite émis par le haut-parleur sous-marin. Le micro sous-marin reçoit le signal ultrason réfléchi, qui est ensuite filtré, puis mis en forme. Les signaux émis et réfléchi sont appliqués à une bascule RS. La tension obtenue passe par un filtre, puis est appliquée à un comparateur qui commande l'alarme sonore et l'alarme visuelle.



Remarque : le fonctionnement interne du sondeur ne sera pas étudié dans le sujet

Figure 11

D.1. Durée de propagation.

La vitesse de déplacement du son dans l'eau est $v_{\text{son}} = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

D.1.1. Sachant que le signal ultrason effectue le trajet **aller-retour** entre le bateau et le fond marin, donner l'expression de la durée de propagation t_{son} en fonction de la vitesse v et de la distance d .

D.1.2. Montrer que : $t_{\text{son}} = 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot d$ (avec t_{son} en seconde et d en mètre)

D.1.3. Pour une profondeur $d = 1,5 \text{ m}$, calculer la durée de propagation t_{son}

D.2. Oscillateur à portes logiques.

Ce circuit fournit une tension rectangulaire u_7 , de fréquence f et de rapport cyclique α .

Le schéma de ce circuit est donné **figure 12**.

On donne $R_3 = 6,37 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 910 \Omega$ et $C_1 = 1 \mu\text{F}$

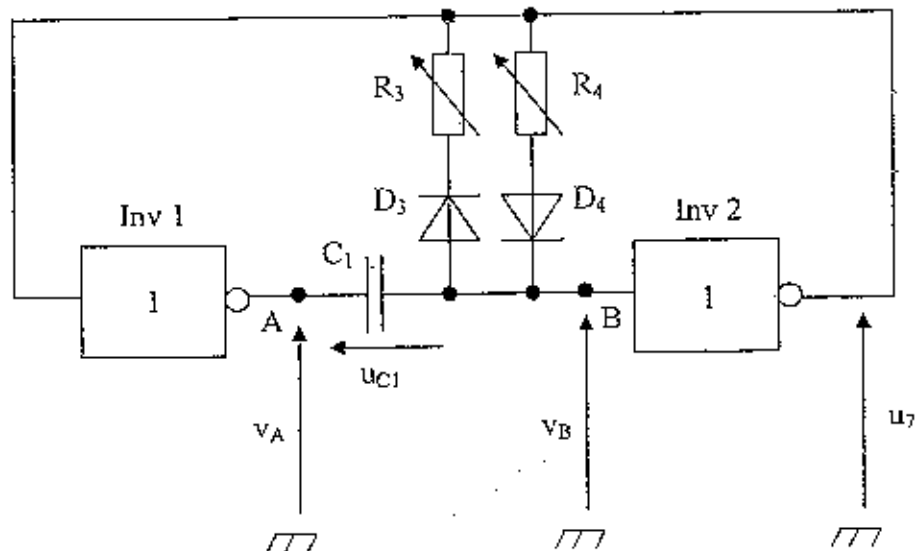


Figure 12

Inv 1 et Inv 2 sont des portes inverseuses. Leur caractéristique de transfert est donnée sur la figure 13.

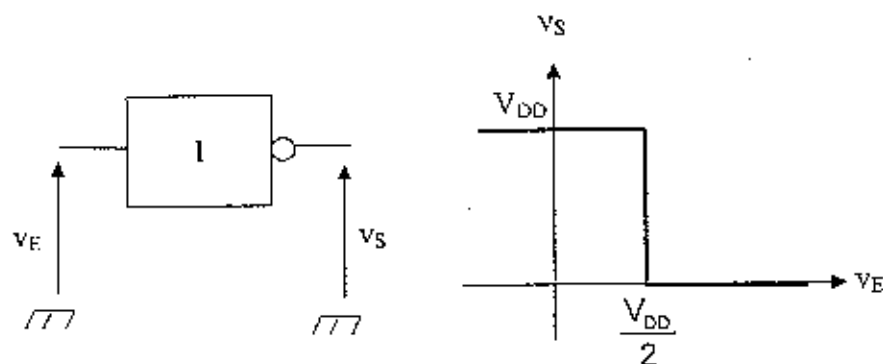


Figure 13

D.2.1. Donner la relation entre les tensions v_A , u_{C1} et v_B .

Le chronogramme de la tension v_B est donné sur le document-réponse n°2, page 14.

D.2.2. Pour l'intervalle $[0 ; 1 \text{ ms}]$.

- D'après les valeurs prises par la tension v_B , quelle est la valeur de la tension u_7 , pour $t \in [0 ; 1 \text{ ms}]$.
- En déduire la valeur de v_A , pour $t \in [0 ; 1 \text{ ms}]$.
- Quelle est la valeur de la tension u_{C1} , à l'instant $t = 0 \text{ ms}$?
- Donner l'état de chaque diode, D_3 et D_4 .
- Dessiner, sur la copie, le schéma du circuit de charge du condensateur C_1 .
- En déduire l'évolution de la tension u_{C1} .
- Exprimer la constante de temps τ_1 du circuit. Application numérique.

D.2.3. A l'instant $t = 1 \text{ ms}$, la tension u_7 bascule.

- 3.a. Pourquoi y a-t-il basculement de la tension u_7 , à $t = 1 \text{ ms}$? Quelle est la valeur de v_A , juste après le basculement ?
- 3.b. Quelle est la valeur de la tension u_{C1} , juste avant le basculement ?
- 3.c. Quelle est la valeur de la tension u_{C1} , juste après le basculement ? Pourquoi ?
- 3.d. Tracer les chronogrammes des tensions v_A , u_7 et u_{C1} , pour $t \in [0 ; 1 \text{ ms}]$, sur le document-réponse n°2 à rendre avec la copie.

D.2.4. Pour l'intervalle $[1 \text{ ms} ; 8 \text{ ms}]$.

- 4.a. Tracer les chronogrammes des tensions u_7 et v_A pour $t \in [1 \text{ ms} ; 8 \text{ ms}]$ sur le document-réponse n°2 à rendre avec la copie.
- 4.b. Dessiner, sur la copie, le nouveau circuit de charge du condensateur C_1 .
- 4.c. En déduire l'évolution de la tension u_{C1} .
- 4.d. Exprimer la constante de temps τ_2 du circuit. Application numérique.
- 4.e. Tracer le chronogramme de la tension u_{C1} pour $t \in [1 \text{ ms} ; 8 \text{ ms}]$, sur le document-réponse n°2 à rendre avec la copie. Quelle est la valeur de u_{C1} , juste avant l'instant $t = 8 \text{ ms}$?
- 4.f. Calculer la fréquence f et le rapport cyclique α de la tension u_7 du document-réponse n°2.

La tension u_7 précédente est mise en forme, puis amplifiée afin d'alimenter le haut parleur sous-marin. Un signal ultrason est émis et le micro sous-marin reçoit un signal réfléchi par le fond marin. Il délivre alors une tension qui est filtrée (suppression des échos indésirables dus aux bulles d'air et autres interférences), puis mise en forme pour obtenir la tension u_8 .

D.3. Bascule RS.

Le document-réponse n°3, page 15, donne les chronogrammes des tensions u_7 et u_8 , en concordance de temps.

Ces tensions sont appliquées aux entrées d'une bascule RS (voir figure 11, page 8), dont la table de vérité est donnée ci-contre.

R	S	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	1
1	0	0
1	1	X

D.3.1. Tracer le chronogramme de la tension u_9 sur le document-réponse n°3 à rendre avec la copie.

D.3.2. Donner la valeur de la période T de la tension u_9 .

D.3.3. Exprimer la valeur moyenne $U_{9\text{moy}}$ de la tension u_9 en fonction de T , V_{DD} et t_{son} .

D.3.4. En utilisant la question D.1.2, en déduire que : $U_{9\text{moy}} = 2.d$ (avec $U_{9\text{moy}}$ en volt et d en mètre).

D.3.5. Calculer $U_{9\text{moy}}$ pour $d_1 = 1,5 \text{ m}$, puis pour $d_2 = 1 \text{ m}$.

D.4. Filtrage.

La tension u_9 est appliquée à l'entrée d'un filtre, dont le schéma est donné figure 14.

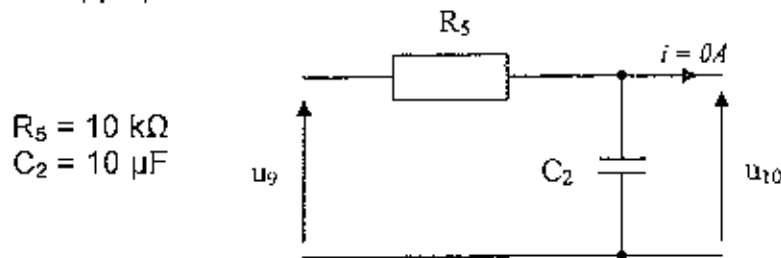


Figure 14

On étudie ce circuit en régime sinusoïdal. La tension u_9 est donc sinusoïdale, de pulsation ω . On associe aux tensions u_9 et u_{10} leurs notations complexes \underline{U}_9 et \underline{U}_{10} .

D.4.1. Comment se comporte le condensateur à haute fréquence, puis à basse fréquence ? En déduire le type de filtre étudié.

D.4.2. Exprimer la fonction de transfert $\underline{T} = \frac{\underline{U}_{10}}{\underline{U}_9}$ en fonction de R_5 , C_2 et ω .

D.4.3. Exprimer T , le module de \underline{T} , en fonction de R_5 , C_2 et ω .

D.4.4. Calculer $\lim_{f \rightarrow 0} T$ et $\lim_{f \rightarrow \infty} T$. Ces résultats correspondent-ils au type de filtre trouvé à la question D.4.1 ?

D.4.5. Donner l'expression de la fréquence de coupure f_c du filtre en fonction de R_5 et C_2 .

D.4.6. On donne $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ et $C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$. Calculer f_c

On applique maintenant, à l'entrée du filtre, la tension u_9 , dont le chronogramme a été tracé sur le **document-réponse n°3**. Le spectre (ou représentation fréquentielle) de la tension u_9 est donné sur le **document-réponse n°4, page 15**.

D.4.7. Donner le nom de chaque composante, numérotée de 1 à 5, sur le **document-réponse n°4 à rendre avec la copie**.

D.4.8. Quelle est la fréquence de la tension u_9 ? Quelle est la valeur moyenne de la tension u_9 ?

D.4.9. Expliquer pourquoi le filtre est appelé "circuit moyenneur" : $u_{10} = U_{9\text{moy}}$

D.5. Comparaison.

La tension u_{10} est maintenant appliquée à l'entrée du montage comparateur. En sortie, la tension u_{11} commande l'alarme sonore et l'alarme visuelle.

Le schéma du comparateur est celui de la figure 15.

$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_7 = 57 \text{ k}\Omega$
 $E = 2,65 \text{ V}$

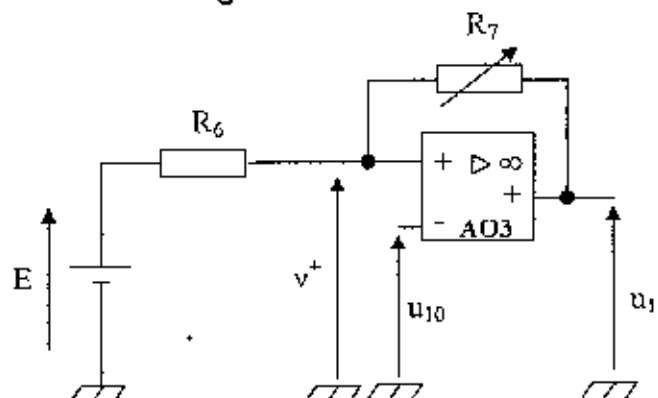


Figure 15

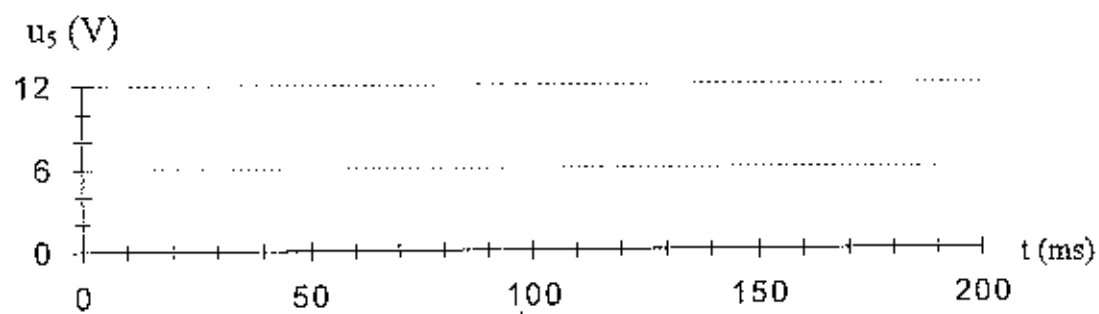
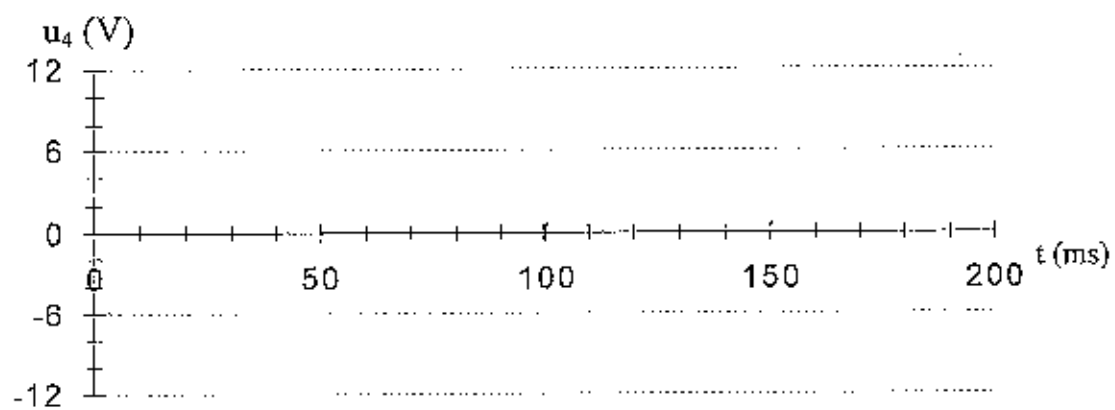
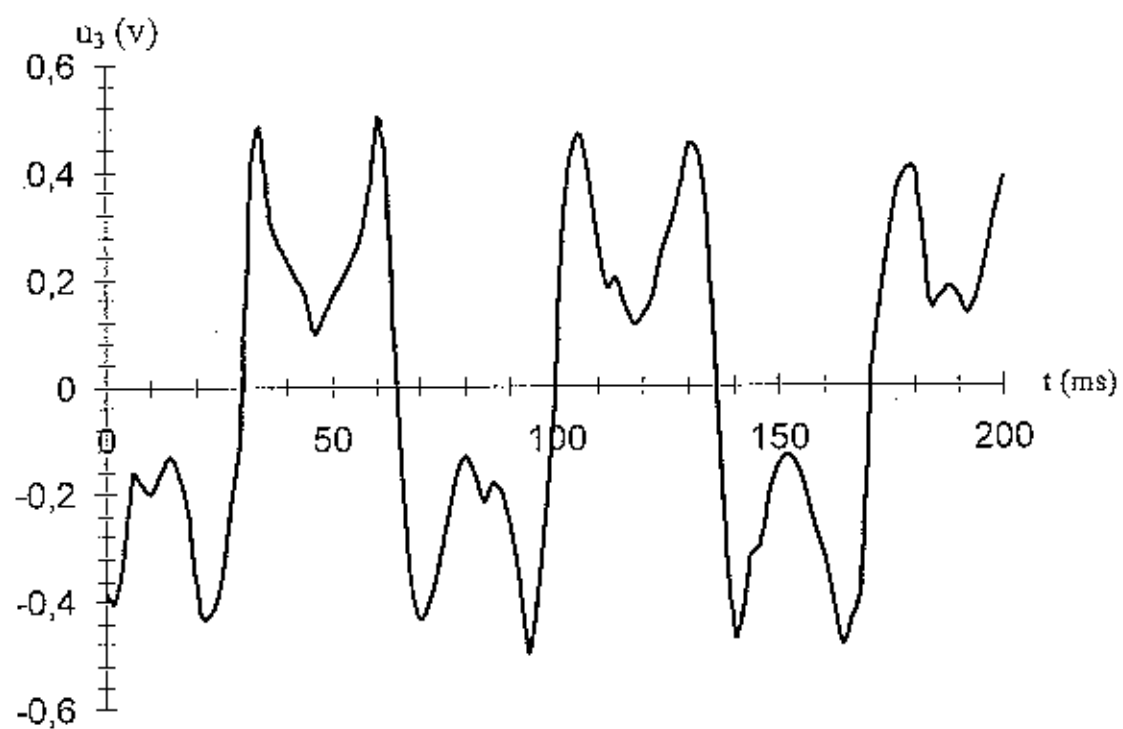
- D.5.1. Quel est le mode de fonctionnement de AO3 ? Pourquoi ?
- D.5.2. Exprimer la tension v^+ en fonction de E , u_{11} , R_6 et R_7 .
- D.5.3. Si $u_{11} = -V_{sat}$, que peut-on dire des tensions v^+ et v^- ? En déduire une inégalité entre u_{10} et E , V_{sat} , R_6 et R_7 . Donner l'expression de la tension de seuil basse U_B du comparateur.
- D.5.4. Déduire l'expression de la tension de seuil haute U_H du comparateur.
- D.5.5. On donne $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_7 = 57 \text{ k}\Omega$ et $E = 2,65 \text{ V}$. Calculer U_B et U_H .
- D.5.6. Donner le nom complet du comparateur étudié.
- D.5.7. Tracer l'allure de la caractéristique de transfert $u_{11} = f(u_{10})$, en précisant les différentes valeurs des tensions.

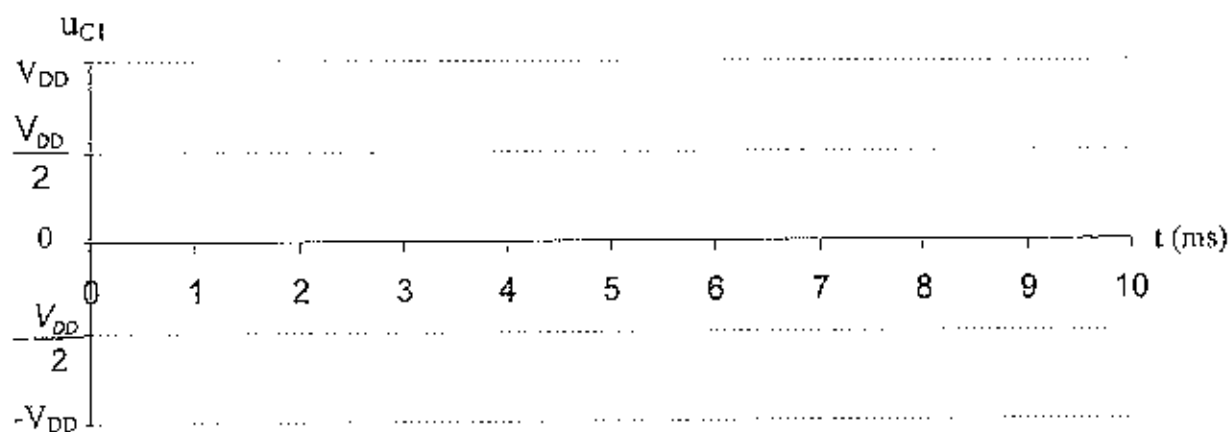
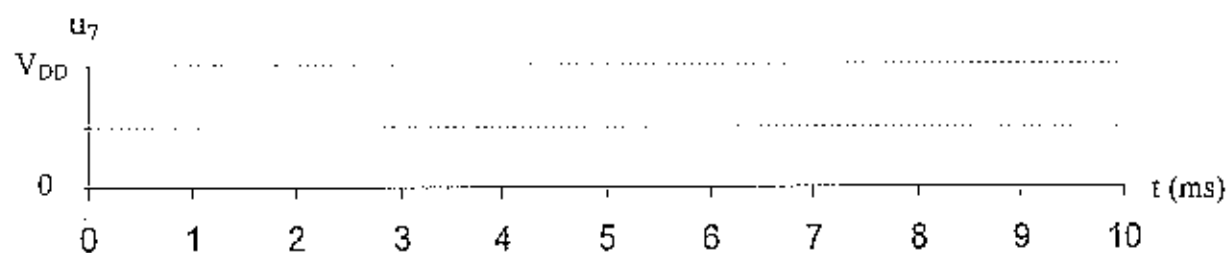
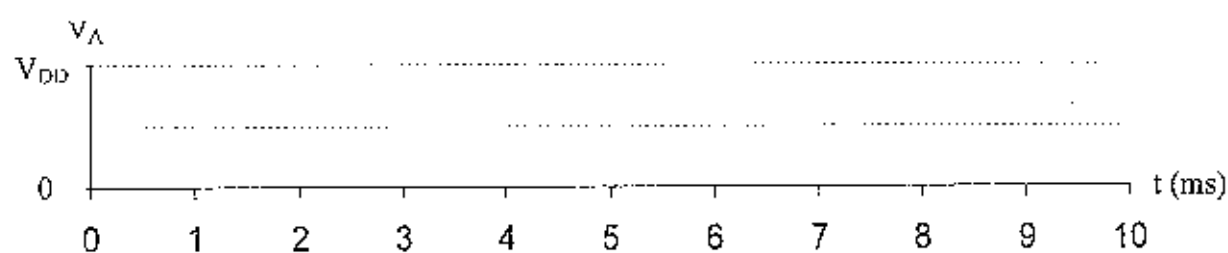
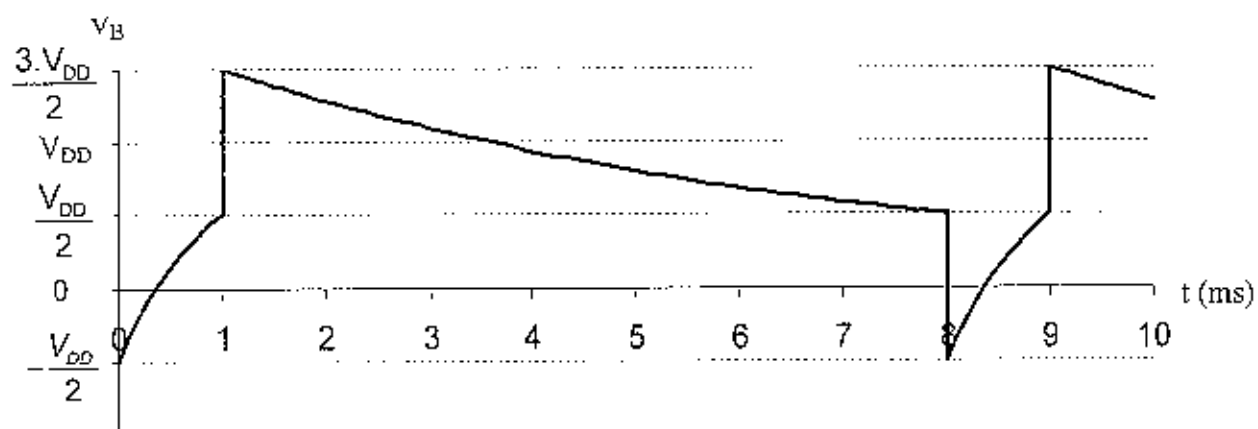
D.6. Synthèse.

L'alarme sonore et l'alarme visuelle sont situées sur la console d'affichage. A l'état haut de la tension u_{11} , un haut parleur émet un avertissement sonore et l'indicateur "prof." clignote. A l'état bas de la tension, le haut parleur n'émet pas de son et l'indicateur est éteint.

- D.6.1. Les alarmes sont activées lorsque la tension u_{11} passe de l'état bas à l'état haut. A partir de quelle profondeur, notée d_{actif} , les alarmes sont-elles activées ?
- D.6.2. Les alarmes sont désactivées lorsque la tension u_{11} passe de l'état haut à l'état bas. A partir de quelle profondeur, notée $d_{inactif}$, les alarmes sont-elles désactivées ?
- D.6.3. Préciser l'état des alarmes (actives ou inactives) pour la profondeur $d_1 = 1,5 \text{ m}$, puis pour la profondeur $d_2 = 1 \text{ m}$.
- D.6.4. Le profil du fond marin est représenté sur le **document-réponse n°5 à rendre avec la copie**. Indiquer l'état des alarmes (A pour actives, I pour inactives), en précisant les profondeurs au changement d'état.

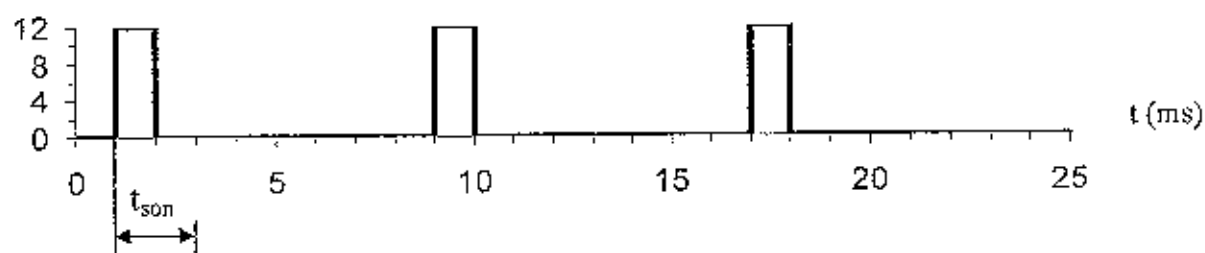
DOCUMENT-REPONSE N°1 à rendre avec la copie



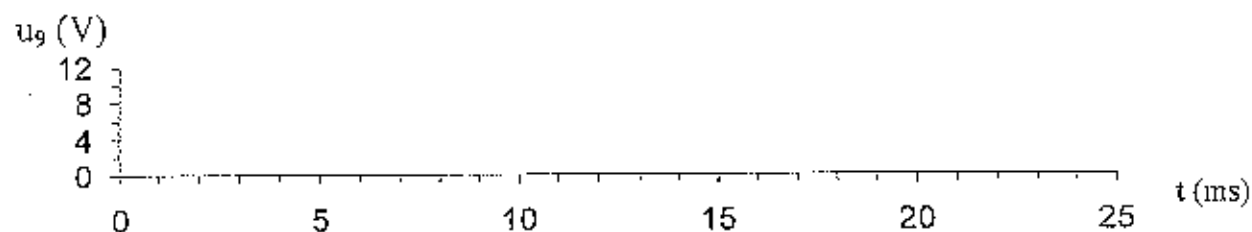
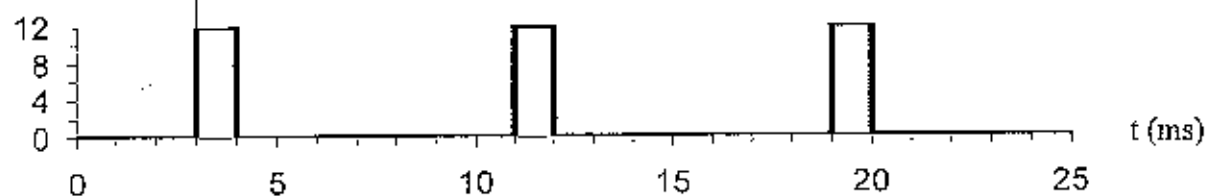


DOCUMENT-REPONSE N°3 à rendre avec la copie

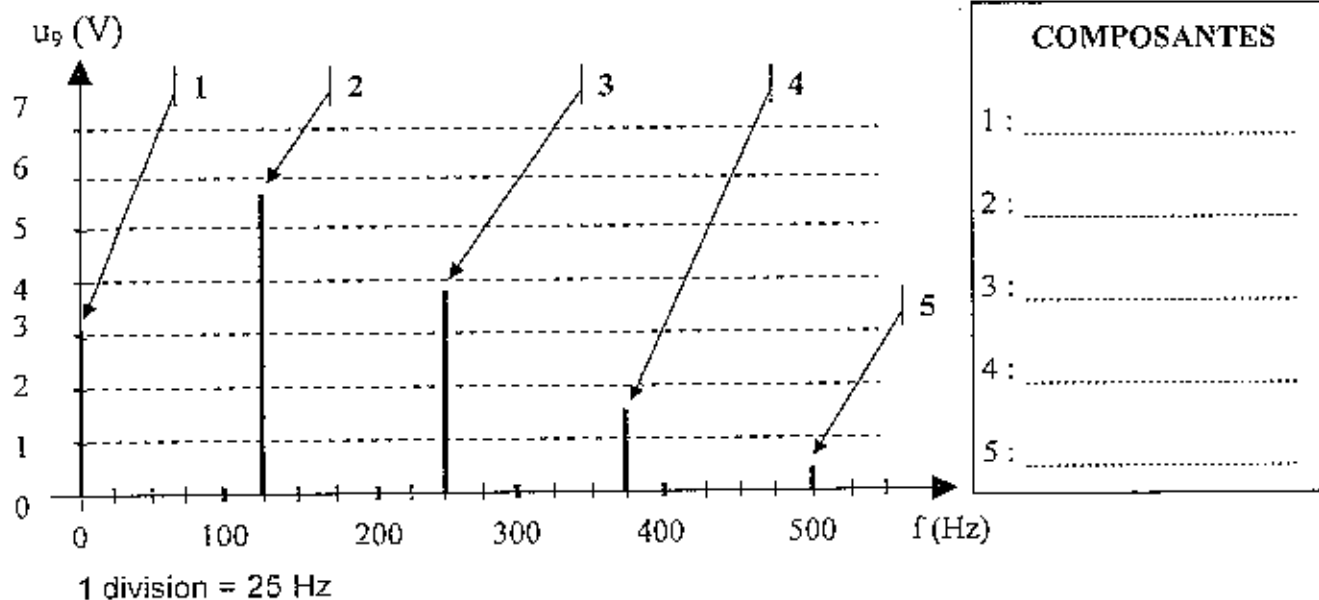
u_7 (appliquée à l'entrée S de la bascule RS)



u_8 (V) (appliquée à l'entréc R de la bascule RS)

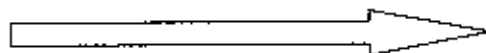


DOCUMENT-REPONSE N°4

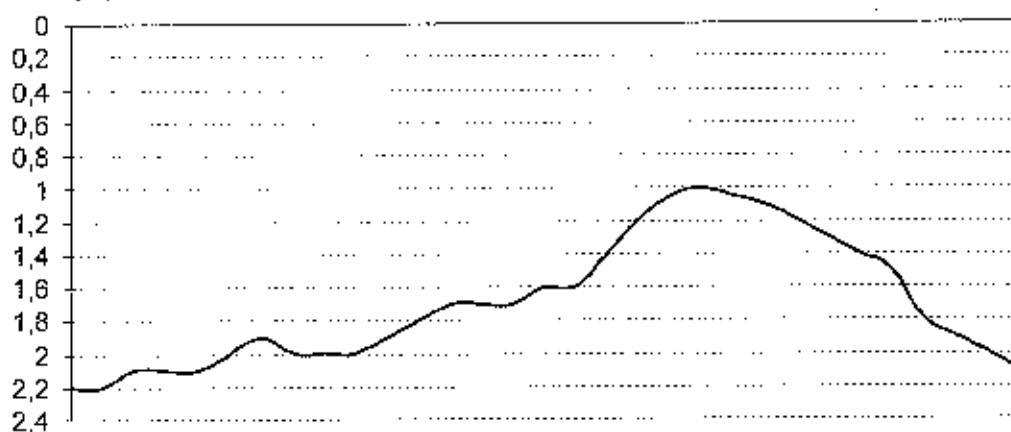


DOCUMENT-REPONSE N°5 à rendre avec la copie

Sens de déplacement du bateau



Profondeur
d'eau d (m)



Etat des
alarmes

--

A pour actives
I pour inactives