SUJET SORTI

5 PYEL ME1/LR1

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

« Génie Électronique»

Session 2005

Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures **Coefficient : 5**

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

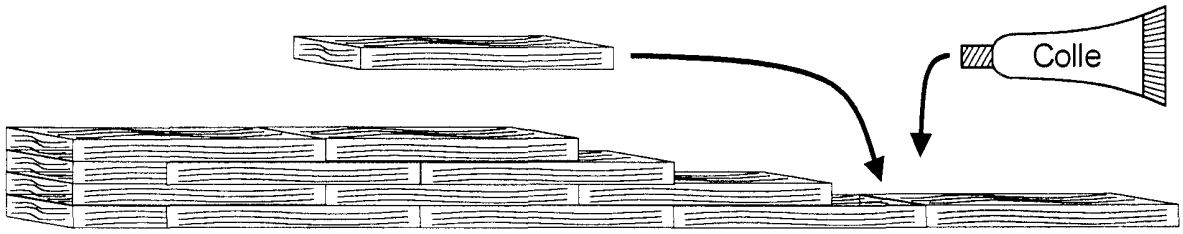
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

Les documents réponses 1 à 4 sont à rendre avec la copie.

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.

Tri de lamelles de bois dans l'industrie du lamellé-collé

Les poutres en **lamellé-collé**, utilisées dans la construction de grands édifices (gymnases, salles de conférences, hangars de stockage, ateliers industriels), sont constituées d'une grande quantité de lamelles de bois assemblées entre elles par une colle polyuréthane comme le montre la figure ci-dessous :



Afin d'assurer un bon assemblage des différentes lamelles, celles-ci doivent présenter des caractéristiques hygrométrique et mécanique proches. A cette fin, on effectue deux types de tri au début de la chaîne d'assemblage :

- un premier tri permet de déterminer si le taux d'hygrométrie relatif est satisfaisant ;
- un deuxième tri permet de juger si le module d'élasticité est satisfaisant.

Aucune connaissance particulière sur ces deux grandeurs n'est exigée.

Les lamelles de bois ne répondant pas aux critères de tri sont éliminées de la chaîne d'assemblage et recyclées dans d'autres productions.

Indications :

- Les valeurs instantanées des grandeurs variables au cours du temps sont notées **v** pour **v(t)** , **i** pour **i(t)**, ...
- Tous les composants sont considérés comme parfaits :
  - les circuits intégrés ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle ;
  - les tensions de saturation des amplificateurs opérationnels sont confondues avec les tensions d'alimentation.
- Les tensions d'alimentation sont les suivantes :

Pour les amplificateurs opérationnels : $\pm V_{DD} = \pm 12$ V.

Pour les circuits logiques : $V_{DD} = 12$ V.

Les documents réponses 1 à 4 sont à rendre avec la copie.

1re Partie : Tri par détermination du taux d'hygrométrie des lamelles de bois

Le taux d'hygrométrie relatif **HR** est le rapport entre la masse d'eau contenue dans du bois et la masse du bois anhydre (lorsque le bois ne contient pas d'eau). Ce taux d'hygrométrie s'exprime en **%**.
Pour l'assemblage des lamelles, il doit être compris entre **12 %** et **16 %**.
Le tri des lamelles en fonction du taux d'hygrométrie relatif s'effectue suivant le principe de la **Figure 1**.

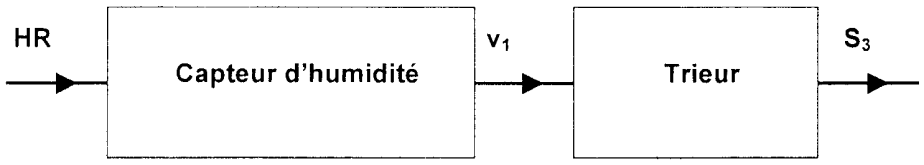


Figure 1

1. Étude du capteur

La conductance du bois dépend du taux d'hygrométrie **HR**. Afin de déterminer ce taux d'hygrométrie, on mesure l'intensité du courant qui circule entre deux électrodes (aiguilles en acier espacées de **3 cm**) plantées dans la lamelle (voir **Figure 2**).

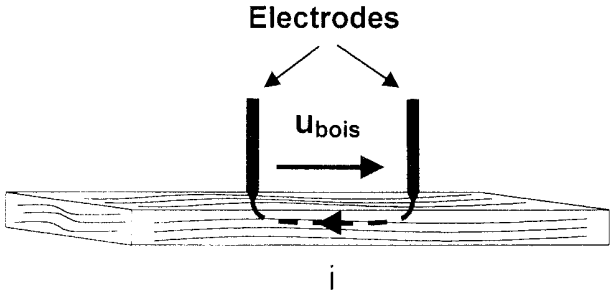


Figure 2

La courbe donnant la conductance **G** (en Ω^{-1}) pour **3 cm** de bois en fonction du taux d'hygrométrie relatif **HR** (en %) est donnée sur le **Document réponse 1 page 11**.

Pour **HR = 12 %** et **HR = 16 %** :

1.1. Déterminer les valeurs **G(12%)** et **G(16%)**.

1.2. En déduire les valeurs correspondantes de l'intensité du courant **i** si une tension constante de **9 V** est appliquée entre les deux électrodes.

Le circuit permettant de mesurer le taux d'hygrométrie de la lamelle de bois est représenté **Figure 3**.

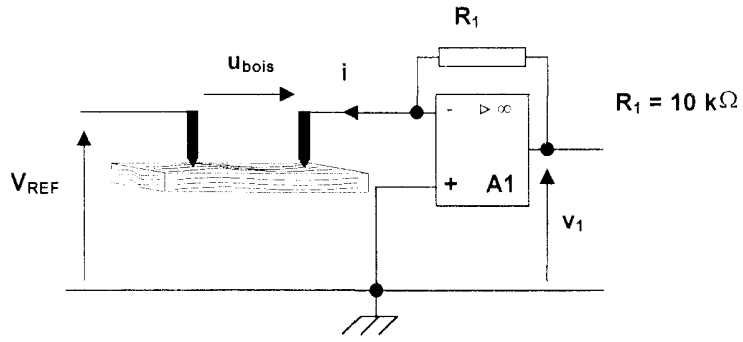


Figure 3

1.3. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel **A1** représenté sur la **Figure 3** ? Justifier la réponse.

1.4. Etablir la relation entre V_{REF} et u_{bois} (**Figure 3**).

1.5. Etablir la relation entre v_1 et **i** (**Figure 3**).

1.6. On donne V_{REF} = **-9 V**.
Calculer V_1**(12%)** et V_1**(16%)** les valeurs respectives de v_1 pour **HR = 12 %** et **HR = 16 %**.

1.7. Comparer la valeur de v_1 à V_1**(12%)** pour **HR < 12 %**.
Comparer la valeur de v_1 à V_1**(16%)** pour **HR > 16 %**.

2. Étude du trieur

La tension v_1 est appliquée au circuit **Figure 4**.

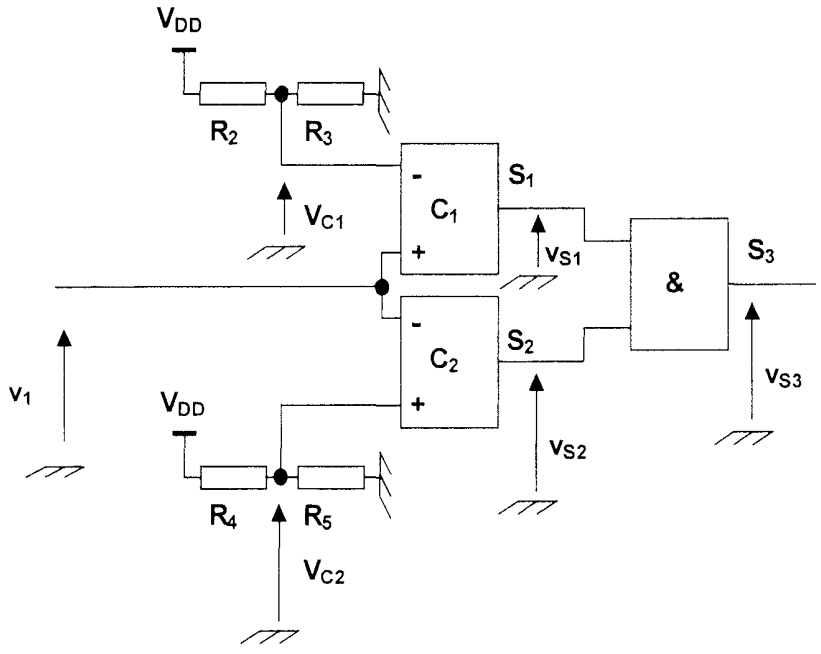


Figure 4

Les circuits C_1 et C_2 sont des comparateurs alimentés entre **0** et V_{DD}.

2.1. Seuils de basculement

2.1.1 Exprimer V_{C1} puis V_{C2} en fonction de V_{DD} et des résistances du montage.

2.1.2 On souhaite obtenir $V_{C1} = 0{,}25$ **V**. On donne $R_3 = 10$ **k**Ω. Calculer la valeur de R_2.

2.1.3 Tracer la caractéristique de transfert $v_{s1} = f(v_1)$ du comparateur C_1 sur le **Document réponse 1 page 11**. En déduire si ce comparateur fonctionne en inverseur ou non.

2.1.4 On donne $R_4 = 38$ **k**Ω et $R_5 = 10$ **k**Ω. Calculer la valeur de V_{C2}.

2.1.5 Tracer la caractéristique de transfert $v_{s2} = f(v_1)$ du comparateur **C2** sur le **Document réponse 1 page 11**. En déduire dans ce cas si le comparateur fonctionne en inverseur ou non.

2.2. Etude de la variable logique S_3

On adopte pour toute la suite $V_{C1} = 0{,}25$ **V** et $V_{C2} = 2{,}50$ **V**.
À $v_{S3} = 0$ **V**, on associe le niveau logique $S_3 = 0$, et à $v_{S3} = 12$ **V**, le niveau logique $S_3 = 1$.

2.2.1 Pour $v_1 < 0{,}25$ **V**, donner la valeur de S_3.

2.2.2 Pour $v_1 > 2{,}5$ **V**, donner la valeur de S_3.

2.2.3 Pour $0{,}25\ V < v_1 < 2{,}5\ V$, donner la valeur de S_3.

2.2.4 Tracer la caractéristique de transfert du montage trieur $S_3 = f(v_1)$ sur le **Document réponse 1 page 11.**

2.2.5 En déduire la valeur de S_3 lorsqu'une lamelle est sélectionnée.

2e Partie : Tri par détermination du module d'élasticité des lamelles de bois

Un bois peut présenter des micro fissures de manière naturelle. Celles-ci réduisent ses qualités mécaniques.
Pour déterminer si les qualités mécaniques (module d'élasticité) conviennent, on mesure la vitesse de propagation d'une onde acoustique dans une lamelle de bois. Pour la fabrication de lamellé-collé en épicéa, cette vitesse **V** doit être supérieure à 4000 m/s.

1. Étude générale

Le synoptique de la fonction tri est représenté **Figure 5**.

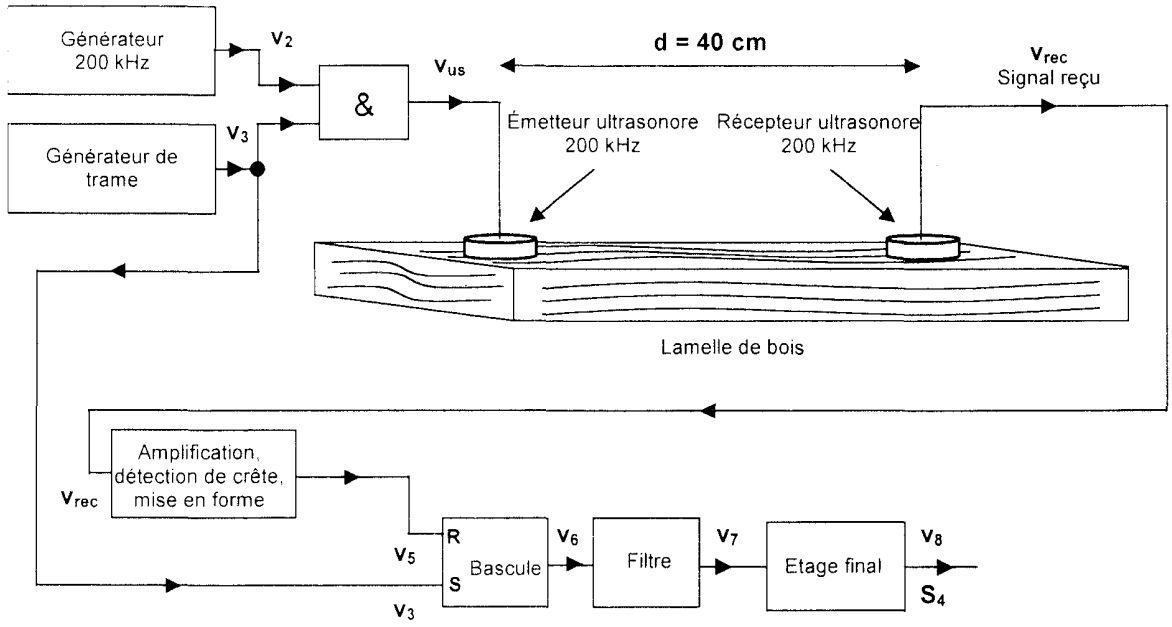


Figure 5

L'onde acoustique est produite par un émetteur d'ultrasons à 200 kHz
L'émetteur et le récepteur sont placés à une distance **d = 40 cm** l'un de l'autre, sur la lamelle à tester.
On suppose que l'onde ultrasonore se propage en ligne droite de l'émetteur au récepteur.

1.1. Calculer le temps de propagation t_{plim} de l'onde acoustique entre l'émetteur et le récepteur pour la vitesse limite V_{lim} = **4000 m/s** .

1.2. Comparer le temps de propagation t_p de l'onde à la valeur t_{plim} précédente pour une lamelle jugée apte (vitesse de propagation supérieure à **4000 m/s**).

2. Étude de l'oscillateur 200 kHz

Le schéma de l'oscillateur **200 kHz** est donné **Figure 6**.
Le montage utilise des portes inverseuses dont la caractéristique de transfert est donnée ci-dessous.

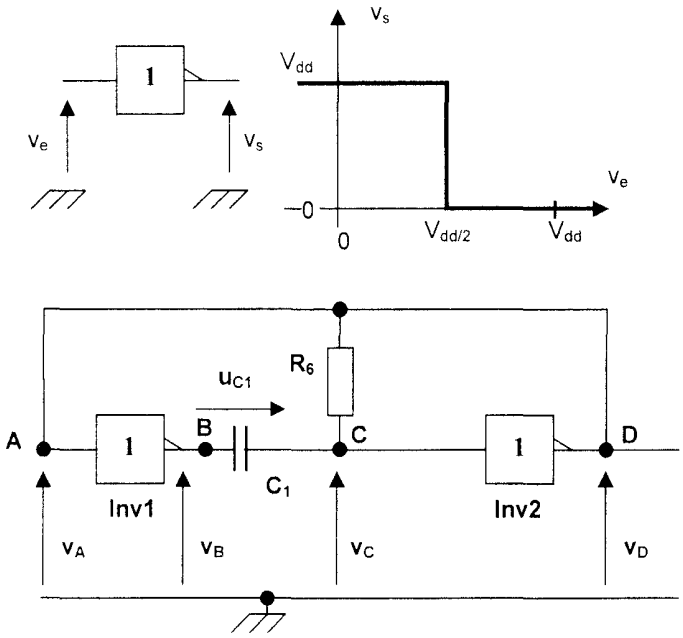


Figure 6

2.1. Quelles sont les valeurs possibles pour les tensions v_A et v_B ?

2.2. Ecrire la relation entre les tensions v_B, v_C et u_{C1}.

2.3. À l'instant **t = 0**, la tension de sortie de la porte **Inv2** bascule de **0** à $+V_{DD}$.

2.3.1 En déduire les valeurs de v_C et v_B à l'instant $t = 0^-$ ($t = 0^-$ correspondant à l'instant juste avant le basculement de la porte **Inv2**).
Montrer que la valeur de u_{C1} à $t = 0^-$ est $u_{C1} = -6$ V.

2.3.2 Donner la valeur de u_{C1} à $t = 0^+$ ($t = 0^+$ correspondant à l'instant juste après le basculement de la porte **Inv2**). Justifier la réponse.

2.3.3 Déterminer les valeurs de v_A et v_B à l'instant $t = 0^+$.

2.3.4 Déduire des questions précédentes la valeur de v_C à l'instant $t = 0^+$.

2.3.5 Représenter le circuit de charge du condensateur à l'instant $t = 0^+$ en indiquant les tensions u_{C1}, v_C et les valeurs prises par v_A et v_B.

2.3.6 Vers quelle valeur tend alors la tension u_{C1} ? Cette valeur est-elle atteinte ? Pourquoi ?

2.3.7 Représenter les tensions v_A, v_B, u_{C1} et v_C pour **0 < t < T/2** sur le **Document réponse 2 page 12**.

À l'instant **t = T/2**, la tension v_D bascule à **0 V**.

2.4. Compléter les chronogrammes des tensions v_A et v_B pour **T/2 < t < T** sur le **Document réponse 2 page 12**.
En s'aidant de la question **2.2**, tracer aussi le chronogramme de la tension v_C.

2.5. La fréquence de l'oscillateur étant de **200 kHz**, déterminer la valeur de la période **T**.

2.6. La période est donnée par la formule : $T = 2.R_6.C_1.\ln(3)$.
La résistance R_6 ajustable est réglée à la valeur **2275** Ω. Calculer la valeur de la capacité du condensateur C_1.

3. Étude de l'émission

L'émetteur d'onde ultrasonore est alimenté par la tension v_{US} (voir **Figure 5 page 5**). La représentation des tensions v_2 et v_3 est donnée sur le **Document réponse 3 page 13.**

3.1. Déterminer la fréquence de la tension v_3 du générateur de trame.

3.2. Représenter la tension v_{US} appliquée à l'émetteur ultrasonore sur le **Document réponse 3 page 13**.

4. Étude de la réception

La réception de la tension v_{rec} est assurée par un amplificateur associé à un détecteur de crête.

4.1. Amplificateur

Son schéma est donné **Figure 7**.

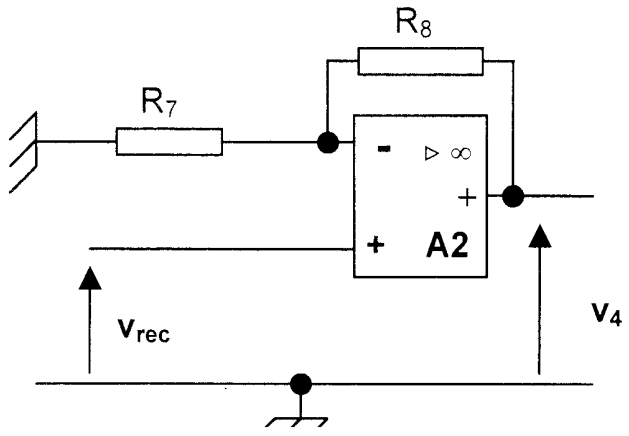


Figure 7

4.1.1 Déterminer l'expression de v_4 en fonction de v_{rec}, R_7 et R_8.

4.1.2 Le coefficient d'amplification de ce montage est $A_V = \frac{v_4}{v_{rec}} = 200$.

En déduire la valeur de R_8, sachant que R_7 = **1,2 kΩ**.

4.1.3 Définir la résistance d'entrée de cet étage. Que peut-on dire de sa valeur ?

Le chronogramme de v_{rec} est donné sur le **Document réponse 3 page 13** pour une lamelle. On admet que cette tension est sinusoïdale quelque soit l'onde émise.

4.1.4 En déduire dans ce cas le chronogramme de v_4 sur le **Document réponse 3 page 13**.
Indiquer sur le chronogramme les valeurs extrêmes de v_4.

4.2. Détecteur de crête

Son schéma est donné **Figure 8**.

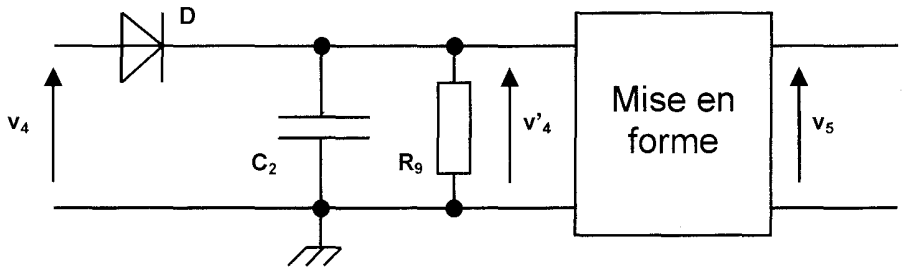


Figure 8

La diode **D** est supposée idéale et assimilable à un interrupteur parfait.
Les tensions v_4 et v'_4 sont représentées sur le **Document réponse 4 page 14**.

4.2.1 Quel est l'état de la diode quand $v_4 = v'_4$?

4.2.2 Comparer v_4 et v'_4 entre les instants t_1 et t_2, indiqués sur le document réponse 4 page 14. En déduire l'état de la diode.

4.2.3 Justifier brièvement l'allure de v'_4 dans l'intervalle de temps $[t_1 ; t_2]$.

4.2.4 Indiquer sur le **Document réponse 4 page 14** les différents états de la diode dans l'intervalle de temps $[t_0 ; t_4]$: bloqué **B** ; passant **P**.

Un circuit de mise en forme (non étudié ici) permet de passer de v'_4 à v_5.

5. Mesure de la vitesse de propagation

La détermination de la vitesse de propagation de l'onde acoustique dans la lamelle de bois est réalisée grâce à une Bascule **RS** dont la table de vérité est donnée ci-après. La connaissance de la bascule RS n'est pas nécessaire. La ligne en gras signifie que lorsque les deux entrées R et S sont à zéro, la sortie Q garde l'état antérieur.

R	S	Q_n *(sortie à l'état actuel)*
0	**0**	Q_{n-1} ***(sortie à l'état antérieur)***
0	1	1
1	0	0
1	1	x

On s'intéresse à la tension de sortie v_6 de la bascule **RS** (voir **Figure 5 page 5**).
Les chronogrammes de la tension v_3 et de la tension v_5 sont donnés sur le **Document réponse 3 page 13** pour une vitesse de l'onde acoustique de **4000 m/s**.

5.1. Représenter le chronogramme de la tension de sortie v_6 pour deux périodes sur le **Document réponse 3 page 13**.

On note t_e l'instant d'émission de v_3 et t_r l'instant de réception de v_5 (voir **Document réponse 3 page 13**). Le temps de propagation de l'onde correspond à l'écart $t_p = t_r - t_e$.

5.2. Indiquer la durée t_p sur le chronogramme de v_6 par une double flèche.

5.3. Exprimer la valeur moyenne $\langle v_6 \rangle$ de la tension v_6 en fonction de t_p, V_{DD} et **T**.

5.4. Montrer que la valeur moyenne de la tension v_6 vaut **6 V** pour la vitesse limite V_{lim} **= 4000 m/s**.

5.5. Que devient la valeur de $\langle v_6 \rangle$ dans le cas d'une lamelle de bois jugée apte (**V > 4000 m/s**) ?

6. Étude du filtre

6.1. Etude en régime sinusoïdal

Le schéma du filtre est donné **Figure 9**.

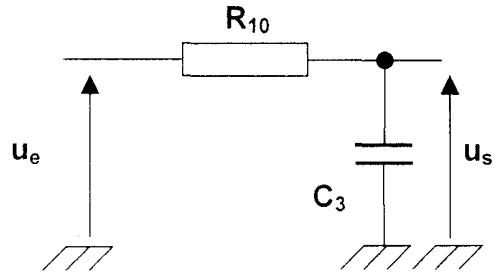


Figure 9

Son étude est d'abord menée en régime sinusoïdal de pulsation ω. On associe les grandeurs complexes $\underline{U_e}$ et $\underline{U_s}$ aux tensions u_e et u_s.

6.1.1 S'agit-il d'un filtre de type passe-bas ou passe-haut ? Justifier la réponse par une analyse du comportement du montage vis-à-vis des fréquences très basses puis des fréquences très hautes.

6.1.2 Exprimer la fonction de transfert complexe $\underline{T} = \frac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$ en fonction de R_{10}, C_3 et ω.

6.1.3 Montrer que le module de $\underline{T}$ s'écrit $T = \frac{1}{\sqrt{1+(R_{10}C_3\omega)^2}}$.

6.1.4 Calculer les valeurs T_0 et T_∞ prises par le module T quand $\omega = 0$ et quand $\omega \rightarrow \infty$. Ces valeurs confirment-elles le type de filtre trouvé en **6.1.1** ?

On donne $R_{10} = 150\ k\Omega$. La fréquence de coupure est donnée par $f_c = \frac{1}{2\pi R_{10} C_3}$.

6.1.5 Définir la fréquence de coupure f_C d'un filtre.

6.1.6 Calculer la valeur à donner à C_3 pour obtenir $f_C = 10\ Hz$.

6.2. Étude en régime non sinusoïdal

On applique maintenant à l'entrée du filtre la tension v_6 pour une vitesse de transmission de l'onde acoustique $V = 4000\ m/s$.
La décomposition harmonique de v_6 limitée aux quatre premiers termes est :

$v_6 = U_m + A_1.\sin(\omega t + \phi_1) + A_3.\sin(3\omega t + \phi_3) + A_5.\sin(5\omega t + \phi_5)$

avec $A_1 = 2.V_{DD}/\pi$, $A_3 = 2.V_{DD}/3\pi$ et $A_5 = 2.V_{DD}/5\pi$.

6.2.1 Que représente le terme U_m ? Quel appareil faut-il utiliser pour mesurer U_m ? Quel mode faut-il choisir (**AC, AC+DC, DC**) ?

6.2.2 Comment s'appelle le terme $A_1.\sin(\omega t + \phi_1)$?

6.2.3 Exprimer la tension de sortie v_7 du filtre sachant que $\omega >> \omega_c$ ($\omega_c = 2\pi f_c$).

7. Elaboration de S4

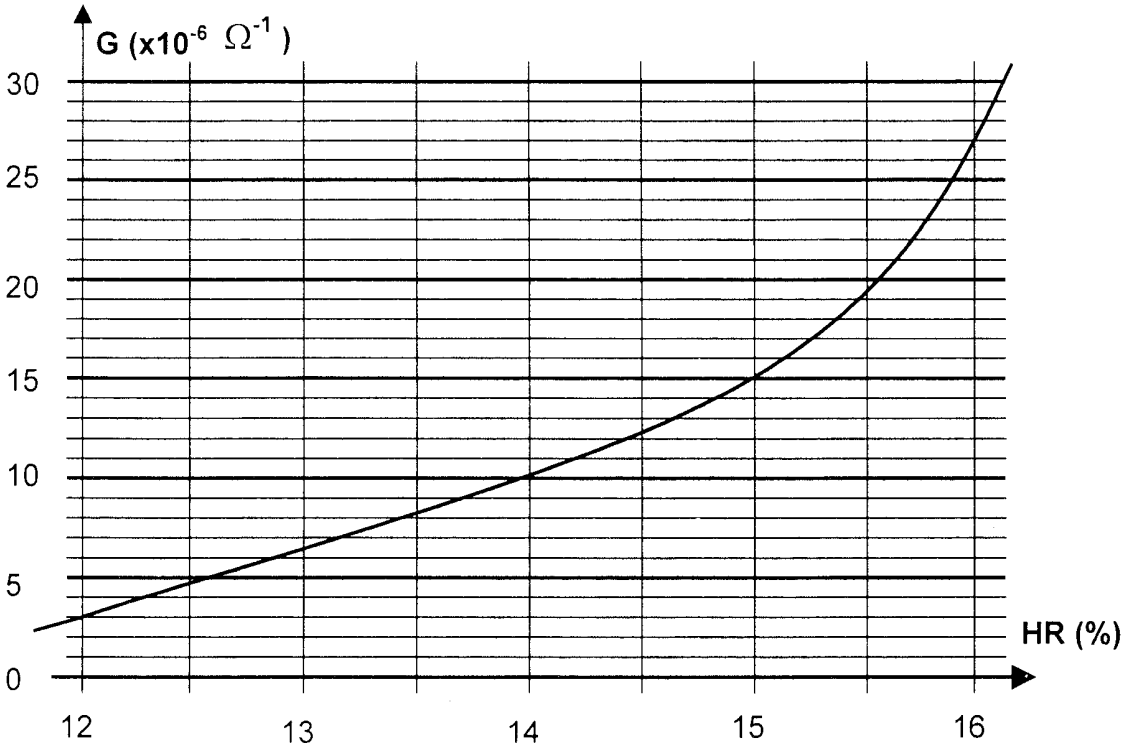
L'étage final du tri permet d'élaborer la variable logique S_4. On a $S_4 = 1$ si le module d'élasticité est satisfaisant.

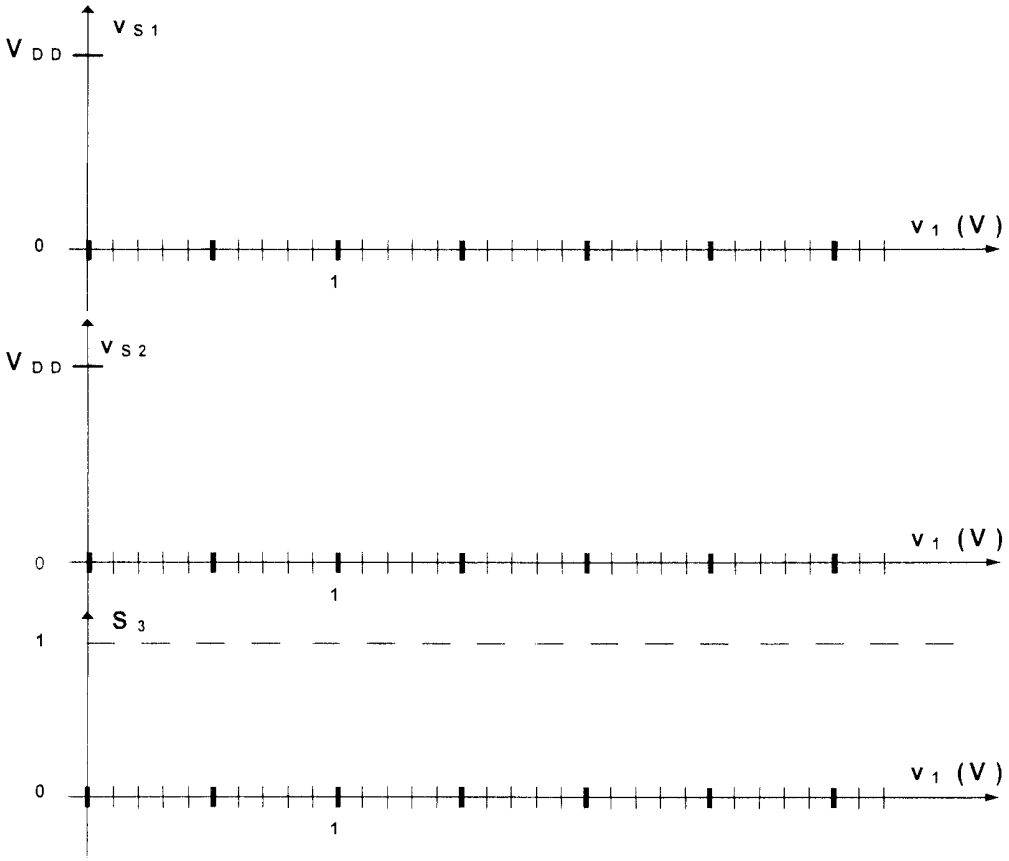
3e partie : Synthèse.

On se propose de tester plusieurs lamelles de bois. Celles–ci doivent être validées d'un point de vue hygrométrique ($S_3 = 1$) et d'un point de vue mécanique ($S_4 = 1$), sinon elles sont rejetées.

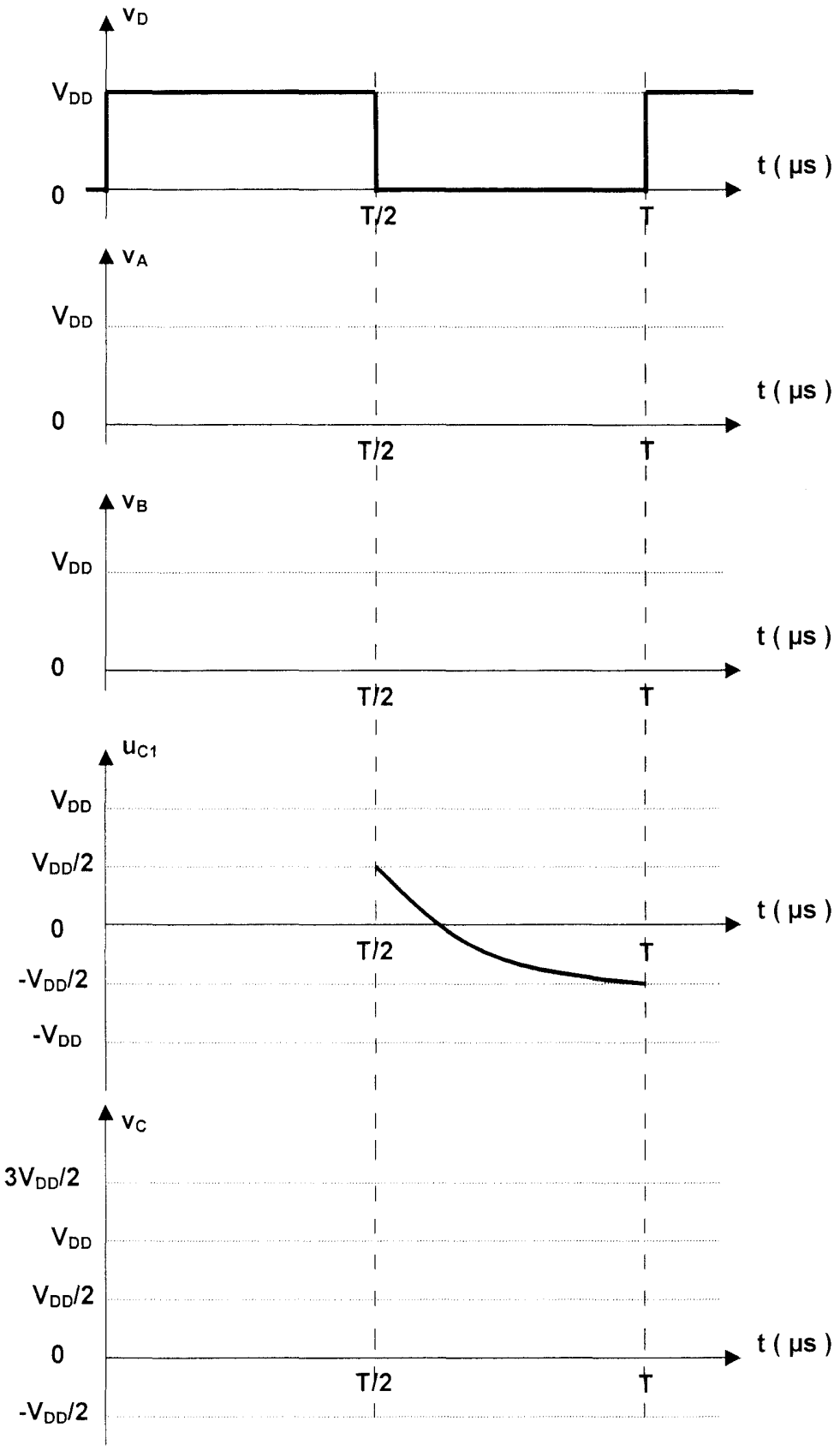
Compléter le tableau **Document réponse 4 page 14**.

Document réponse 1

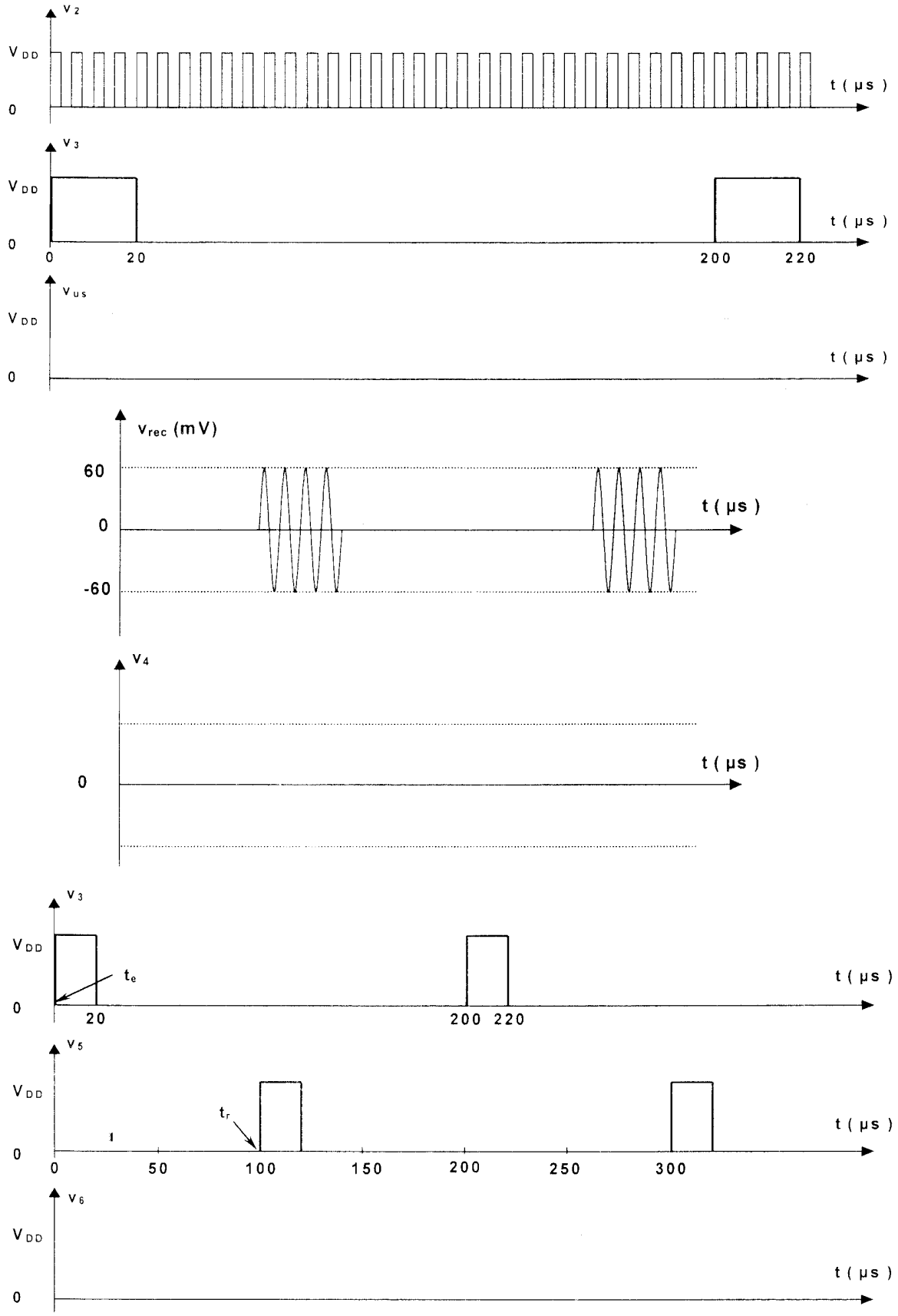


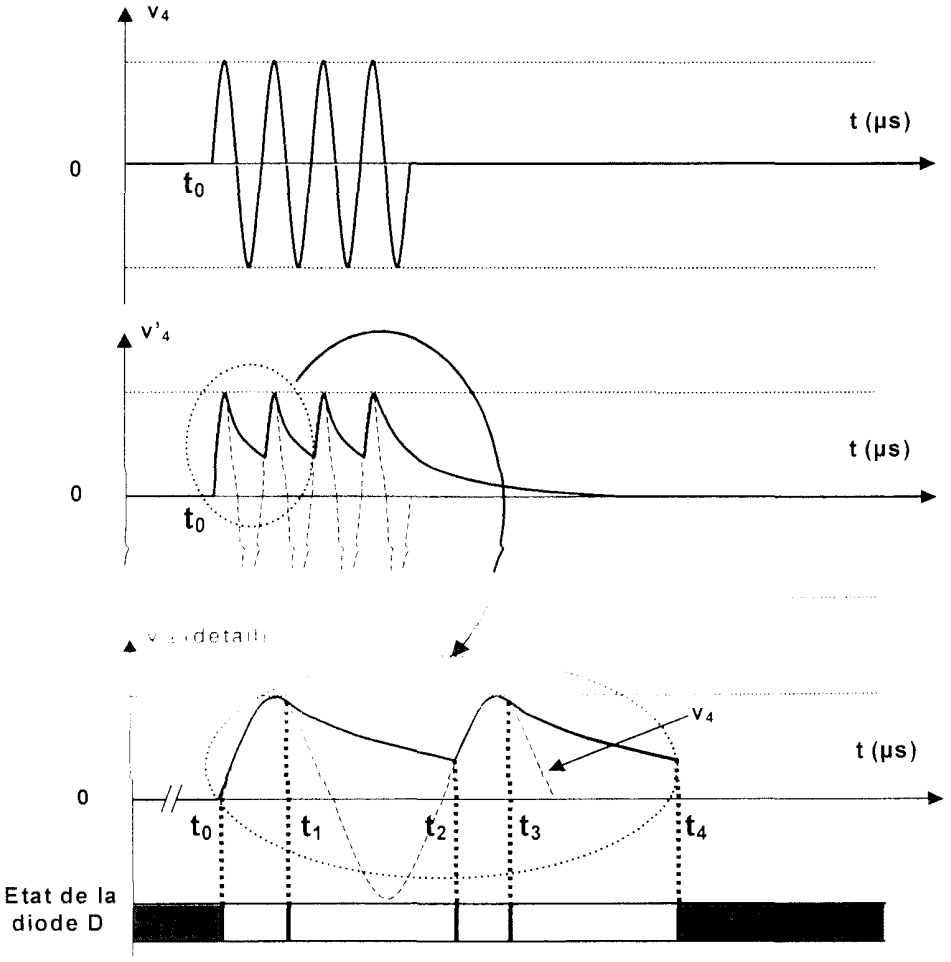


Document réponse 2



Document réponse 3



Document réponse 4

	G ($10^{-6}\ \Omega^{-1}$)	HR valeur (%) ou < 12 % ou > 16 %	S_3	Vitesse (m/s)	t_p (μs)	V_7 (V)	S_4	Admise ou rejetée
Lamelle 1	10	14	1	5000	80	4,8	1	admise
Lamelle 2	1,90			4000	100			
Lamelle 3	15			4800				
Lamelle 4	35			3200