

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Conception et Industrialisation  
en Microtechniques

ÉPREUVE E3

Mathématiques  
et  
Sciences physiques appliquées

UNITÉ U32

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Documents à rendre avec la copie :

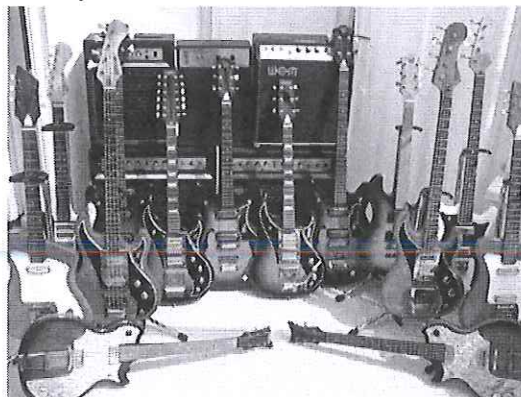
- DOCUMENT RÉPONSE DR1 page 14/16
- DOCUMENT RÉPONSE DR2 page 15/16
- DOCUMENT RÉPONSE DR3 page 16/16

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 16 pages numérotées de 1/16 à 16/16.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 1 sur 16

## ACCORDEUR AUTOMATIQUE DE GUITARES

Les guitaristes passionnés ou professionnels utilisent plusieurs types de guitares, en fonction des circonstances (concerts, phases de création, avec ou sans amplification...) et des sons qu'ils souhaitent obtenir.



<http://www.watkinsguitars.co.uk/othersolids.htm> consulté le 16-01-2021

Un musicien possède de nombreux modèles de guitares (électriques, acoustiques, à 6 ou 12 cordes, etc.). Il a donc en permanence un grand nombre de cordes à changer ou à ajuster. En effet, les cordes ont tendance à se détendre au cours du temps, notamment sous l'influence du milieu dans lequel elles se trouvent (variation de l'humidité, de la température...) ou en cas de jeu excessif du guitariste. Il existe de multiples façons d'accorder une guitare, mais pour ce musicien, un accordeur automatique s'impose. Un tel accordeur, objet de l'étude qui suit, permet de régler automatiquement la tension d'une corde en fonction de la note qu'elle doit produire, et ce pour la plupart des types de guitares du marché.

L'accordeur se présente sous forme d'un petit boîtier autonome, muni d'une griffe motorisée dont le profil peut aisément s'adapter à tout type de cheville de guitare (photographie ci-contre).

L'appareil mesure la fréquence de vibration de la corde et ajuste automatiquement la cheville jusqu'à ce que la corde produise la note prévue pour l'instrument choisi.



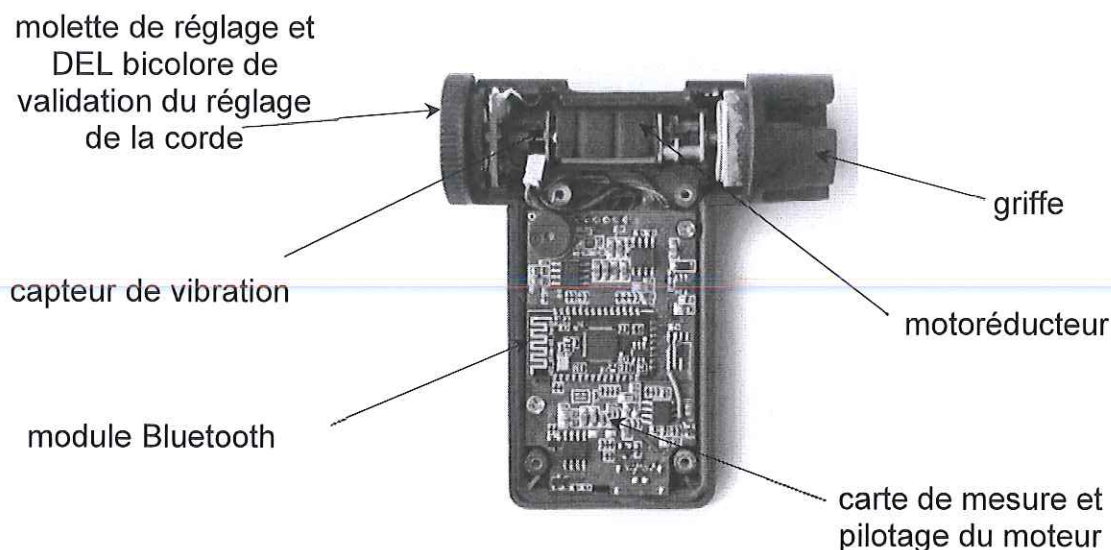
cheville

<https://www.winkco.news/loisirs/musique/roadie-2-met-tous-les-guitaristes-daccord/>  
consulté le 16-01-2021

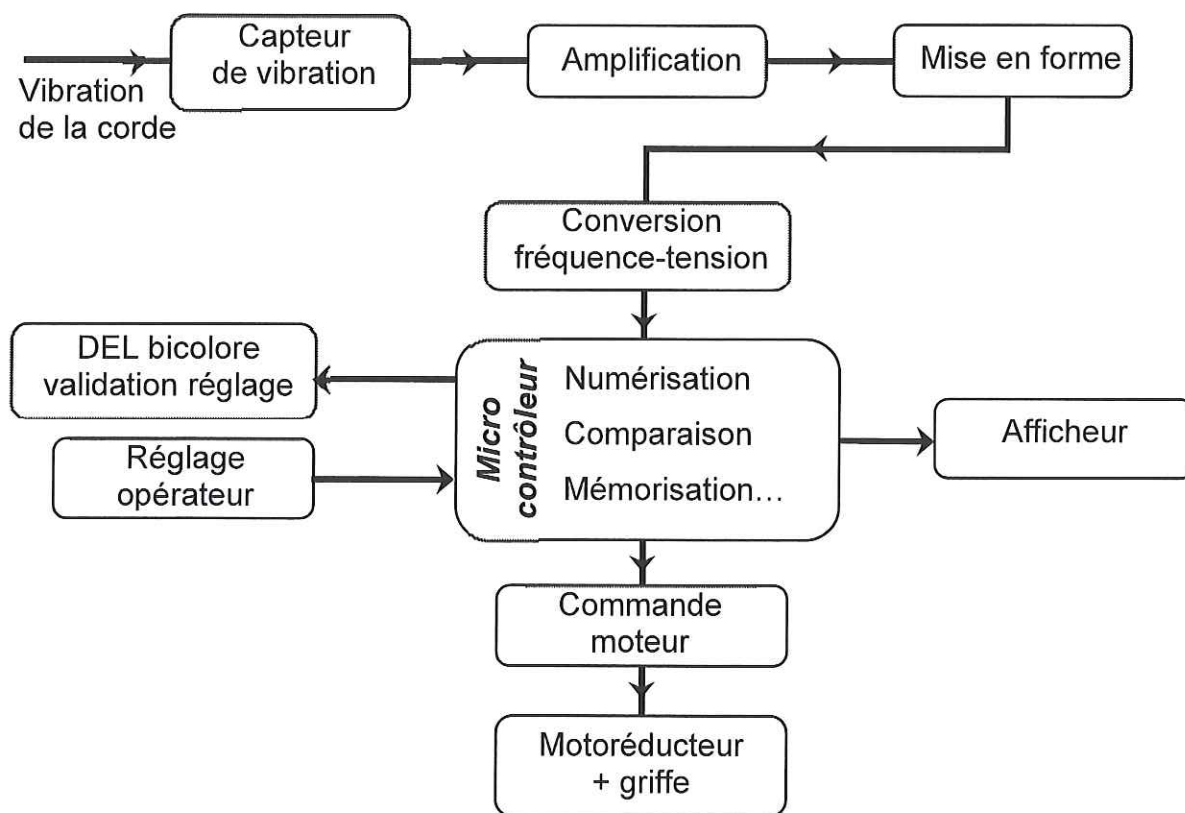
BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 2 sur 16

La mesure de la fréquence de vibration de la corde s'effectue avec un capteur de vibration intégré dans l'appareil, ce qui permet de s'affranchir de la plupart des perturbations acoustiques externes.

Lorsqu'on ouvre l'appareil, on distingue les principaux éléments constitutifs, identifiés dans la photographie ci-dessous.



On donne ci-dessous une représentation fonctionnelle simplifiée de l'accordeur.



BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 3 sur 16



Le sujet comporte quatre parties indépendantes.

Partie A : quelle est l'influence de la tension mécanique de la corde ? (4 points)

Partie B : comment convertir une fréquence en une tension électrique ? (7 points)

Partie C : la précision de la mesure est-elle suffisante ? (4 points)

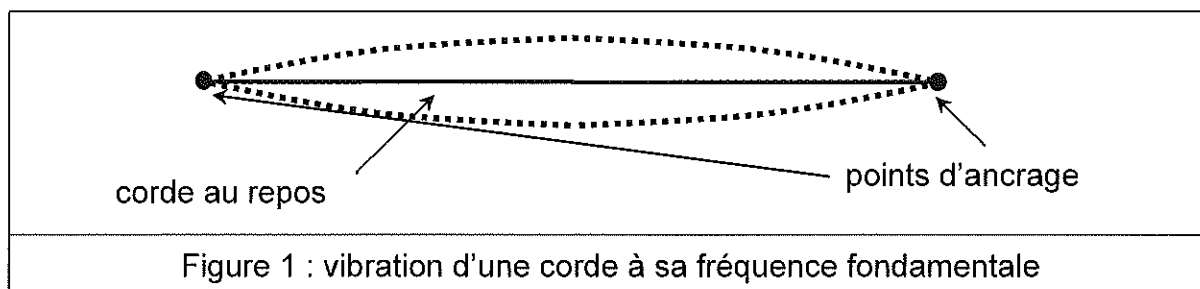
Partie D : quelle est la stratégie de commande du moteur ? (5 points)

La clarté des raisonnements, la qualité de la rédaction, la présence d'unités et la prise en compte des chiffres significatifs interviendront dans l'appréciation des copies.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 4 sur 16

## Partie A : quelle est l'influence de la tension mécanique de la corde ? (4 points)

Lorsqu'une corde de guitare, tendue entre deux points, est sollicitée, sa vibration se représente par le schéma de la figure 1 ci-dessous lorsqu'elle vibre à sa fréquence fondamentale.



L'expression de la fréquence fondamentale de la corde vibrante en fonction de ses caractéristiques est

$$f = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$f$  : fréquence fondamentale de vibration de la corde (Hz)

$L$  : longueur de la corde (m)

$\mu$  : masse linéique de la corde ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ )

$F_T$  : tension mécanique exercée sur la corde (N)

Chaque corde installée sur le manche d'une guitare a sa propre masse linéique. Seules la longueur, la tension mécanique et donc la fréquence peuvent varier.

La tension mécanique  $F_T$  se règle lorsqu'on accorde l'instrument. Le pincement de la corde modifie sa longueur  $L$  lors du jeu.

- Q1.** Indiquer le sens de variation de la fréquence fondamentale de vibration  $f$  d'une corde si, pour une longueur donnée, on tend davantage la corde.
- Q2.** Indiquer le sens de variation de la fréquence fondamentale de vibration  $f$  d'une corde si, pour une tension mécanique donnée, on pince la corde de manière à réduire la longueur.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 5 sur 16

On considère la corde la plus fine d'une guitare électrique :

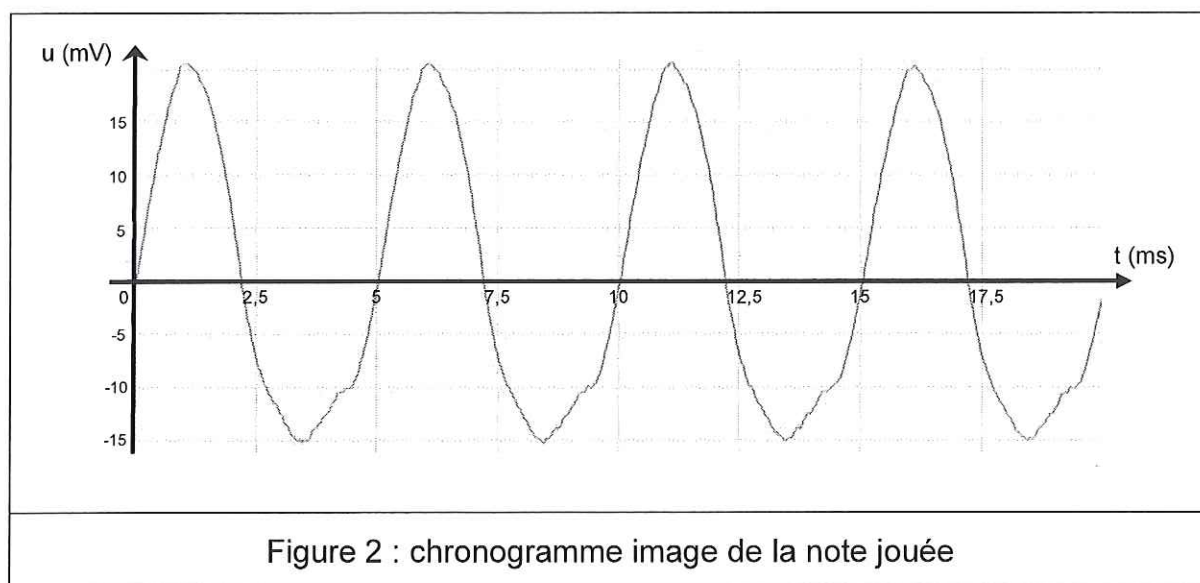
- sa longueur sans pincement, notée  $L$ , vaut 65,5 cm ;
- sa masse linéique, notée  $\mu$ , vaut  $3,82 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  ;
- la tension mécanique, notée  $F_T$ , exercée sur cette corde vaut alors 71,3 N.

**Q3.** Calculer la fréquence fondamentale  $f$  de vibration de la corde.

Pour obtenir une guitare parfaitement accordée, les six cordes doivent vibrer sans pincement selon les valeurs des fréquences fondamentales indiquées dans le tableau ci-dessous.

Notes	Mi <sub>1</sub>	La <sub>1</sub>	Ré <sub>2</sub>	Sol <sub>2</sub>	Si <sub>3</sub>	Mi <sub>3</sub>
f (Hz)	82,4	110	147	196	247	330

Le capteur de vibration permet d'obtenir le chronogramme de la tension électrique (figure 2), image de la vibration de la corde pour une tension mécanique donnée.

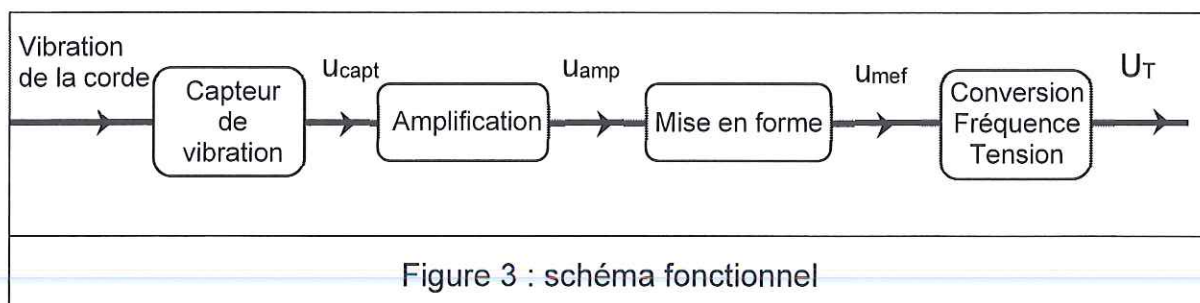


**Q4.** Établir s'il faut tendre ou détendre la corde afin d'obtenir la fréquence fondamentale de la note la plus proche. Détailler le raisonnement en s'appuyant sur la figure 2 et le tableau ci-dessus.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 6 sur 16

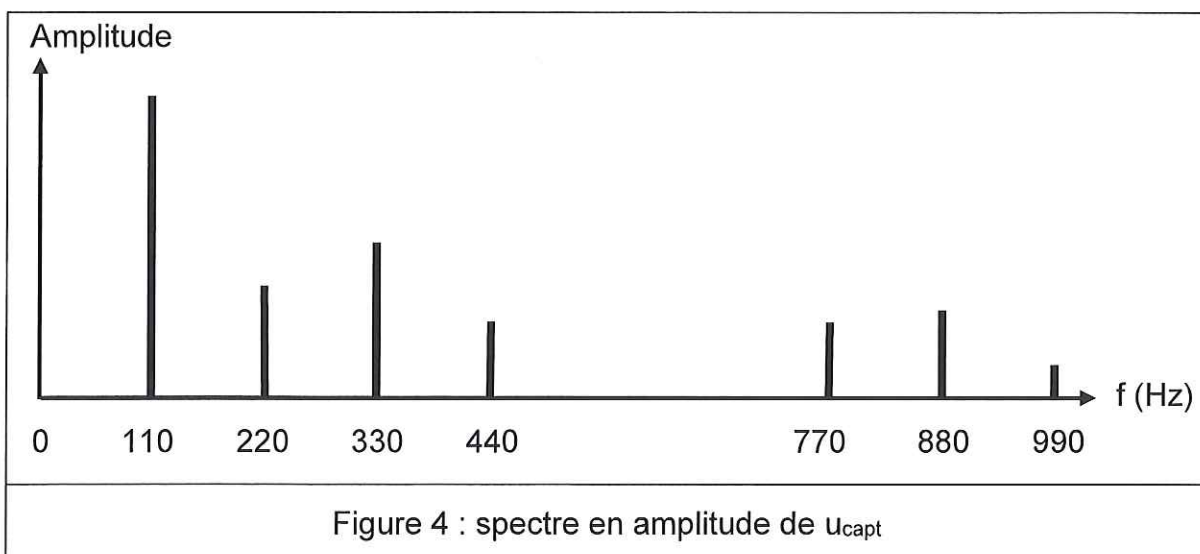
## Partie B : comment convertir une fréquence en une tension électrique ? (7 points)

Les principales fonctions nécessaires à la mesure de la fréquence de la vibration sont indiquées figure 3.



Le capteur de vibration employé pour convertir la vibration d'une corde en une tension électrique est du type piézo-électrique. Ce type de capteur produit une tension de faible amplitude. Il est donc nécessaire de l'amplifier dans un premier temps.

La figure 4 représente le spectre en amplitude du signal électrique  $U_{\text{capt}}$  généré par le capteur et correspondant à une note jouée par une guitare électrique.



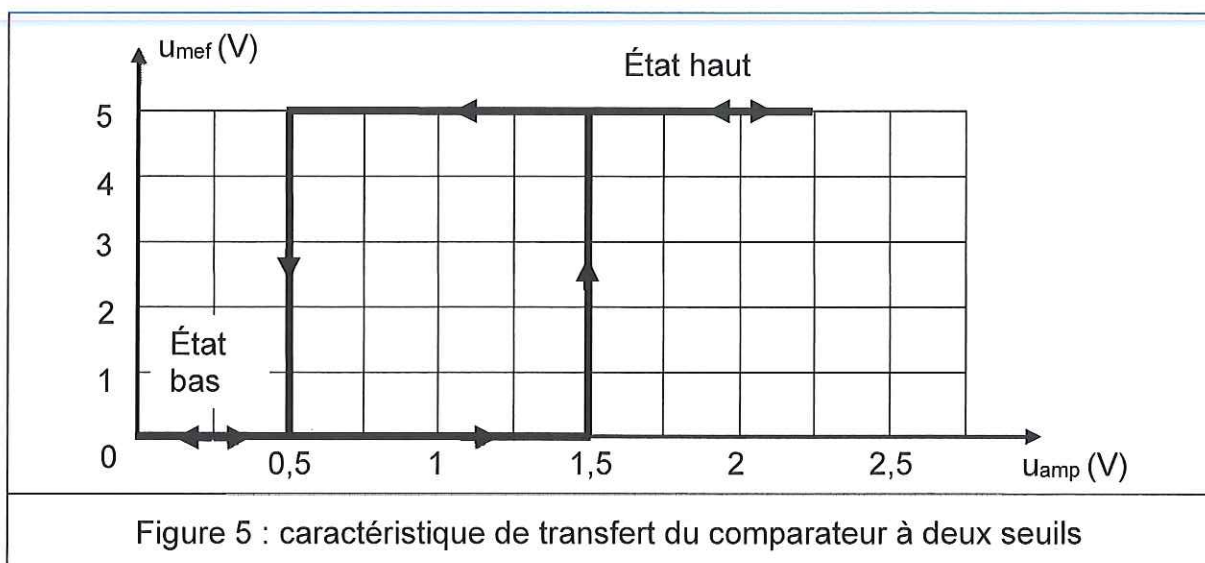
On donne également, sur le DOCUMENT RÉPONSE DR1, l'allure de la courbe de réponse de l'amplificateur sélectif qui délivre la tension  $U_{\text{amp}}$ . L'amplificateur sélectif est assimilable à un filtre actif.

**Q5.** Indiquer le type de filtre utilisé.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 7 sur 16

- Q6.** Compléter le DOCUMENT RÉPONSE DR1 en déterminant :
- graphiquement les deux fréquences de coupure,  $f_{CB}$  et  $f_{CH}$ , à  $G_{max} - 3$  dB de ce filtre, en faisant apparaître les traits de construction ;
  - la largeur de la bande passante  $\Delta f$  définie par la relation  $\Delta f = f_{CH} - f_{CB}$ .
- Q7.** Préciser les fréquences des harmoniques du spectre représenté figure 4 qui font partie de la bande passante du filtre.

La fonction de « mise en forme » permet d'obtenir un signal compatible avec le microcontrôleur. On obtient ce format de signal à l'aide d'une fonction comparaison à deux seuils, dont la caractéristique de transfert est donnée figure 5.



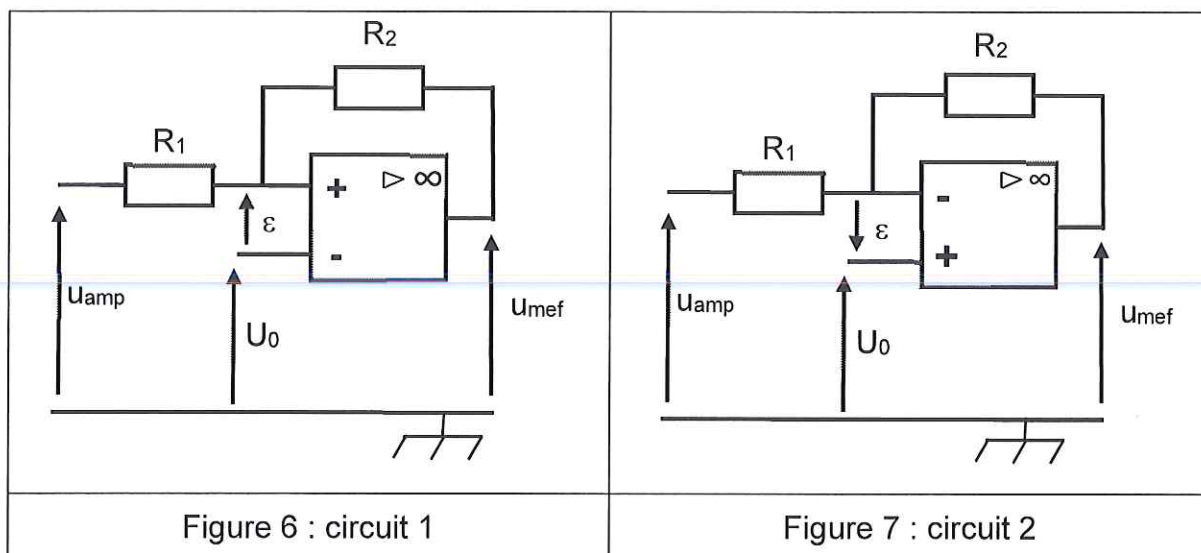
- Q8.** Relever le seuil de basculement noté  $V_C$  de  $u_{amp}$  pour lequel la tension  $u_{mef}$  bascule à l'état haut, ainsi que le seuil de basculement noté  $V_D$  pour lequel la tension  $u_{mef}$  bascule à l'état bas.
- Q9.** Identifier sur le chronogramme  $u_{amp}(t)$  du DOCUMENT RÉPONSE DR2 les points  $V_C$  et  $V_D$  correspondant aux seuils de basculement. Tracer ensuite  $u_{mef}(t)$  sur le DOCUMENT RÉPONSE DR2.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 8 sur 16



Pour réaliser la fonction comparaison, on donne deux exemples de circuits sur les figures 6 et 7. Ils sont réalisés à partir d'ADI (amplificateur différentiel intégré) et de résistances.

Chaque ADI est supposé parfait et alimenté de manière à ce que les tensions de saturation soient  $V_{sat}^+ = V_{CC} = 5\text{ V}$  et  $V_{sat}^- = 0\text{ V}$ .



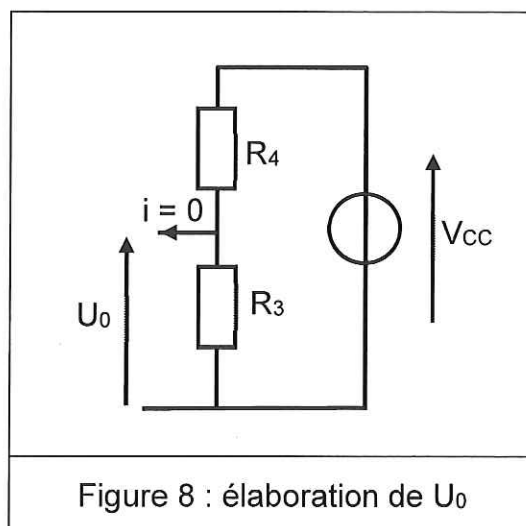
Les tensions d'alimentation des ADI ne sont pas représentées sur les schémas.

**Q10.** Indiquer parmi ces deux circuits celui qui réalise la fonction comparaison. Justifier votre réponse.

La tension  $U_0$  est élaborée à partir de la structure de la figure 8.

**Q11.** Établir l'expression de  $U_0$  en fonction des grandeurs  $V_{CC}$ ,  $R_3$  et  $R_4$ .

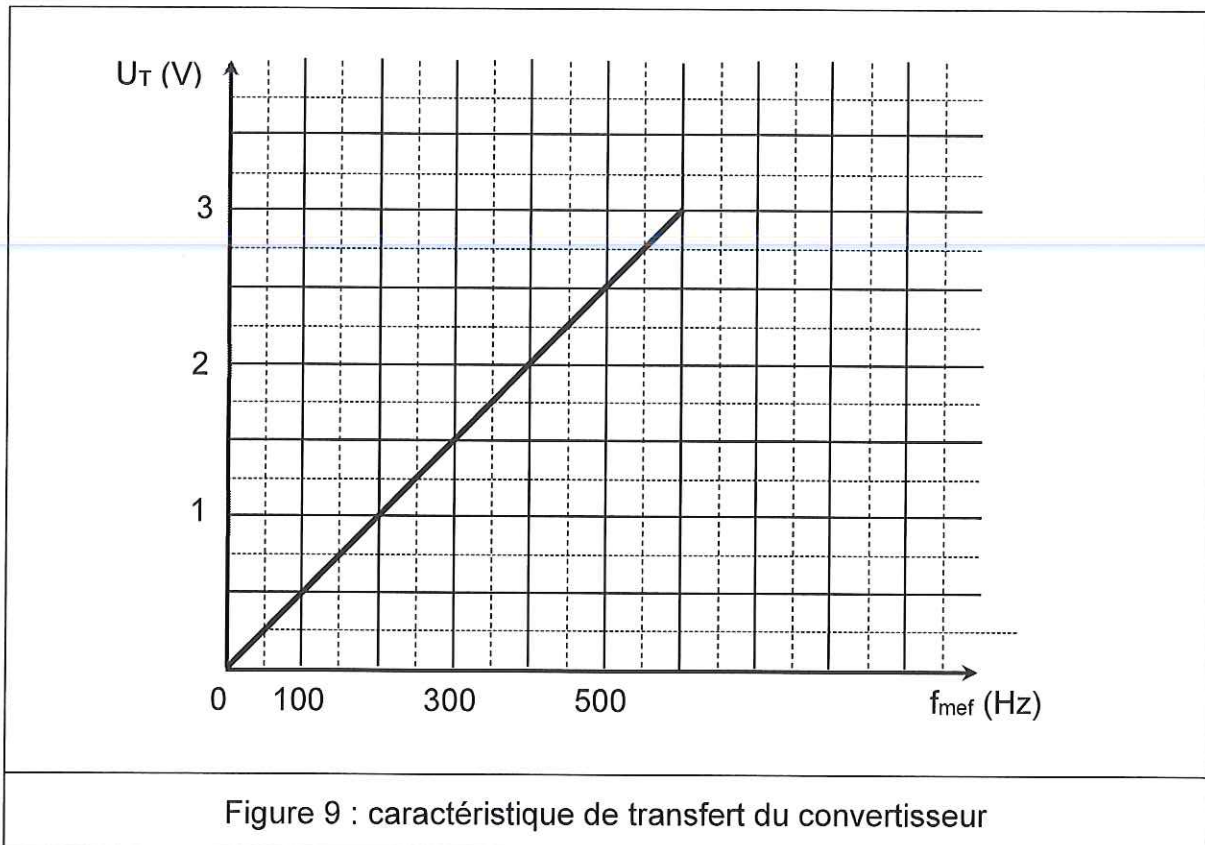
**Q12.** Calculer alors la valeur de  $U_0$  en prenant  $R_3 = 5,6\text{ k}\Omega$  et  $R_4 = 22\text{ k}\Omega$ .



BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 9 sur 16

La dernière étape du traitement du signal consiste à générer une tension continue proportionnelle à la fréquence du signal  $U_{mef}$  précédent. Cette tension sera ensuite appliquée à l'une des entrées du microcontrôleur afin d'être numérisée.

La conversion fréquence-tension est réalisée par un circuit intégré spécialisé. La caractéristique de transfert donnant l'évolution de la tension  $U_T$  en fonction de la fréquence  $f_{mef}$  est représentée sur la figure 9.

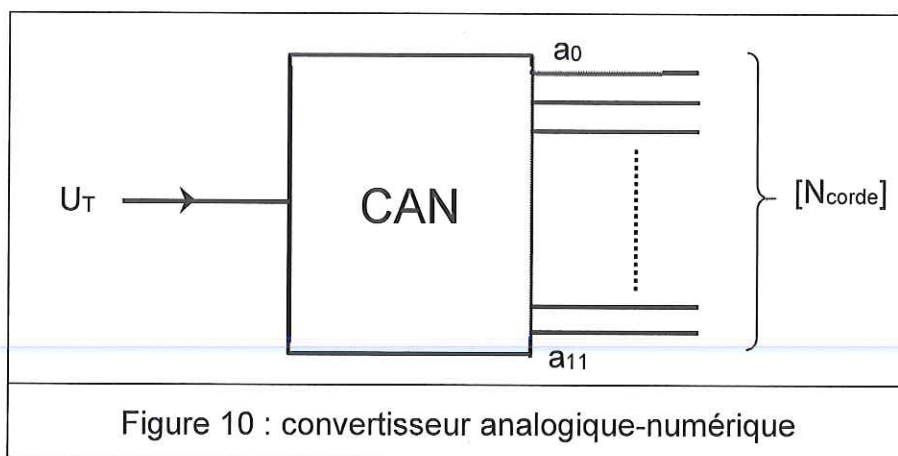


- Q13.** Déterminer la fonction de transfert  $T$  définie par  $T = \frac{\Delta U_T}{\Delta f_{mef}}$  et préciser son unité.
- Q14.** Calculer ou déterminer graphiquement les valeurs de  $U_T$ , pour  $f_{mef} = 40$  Hz puis pour  $f_{mef} = 600$  Hz.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 10 sur 16

## PARTIE C : la précision de la mesure est-elle suffisante ? (4 points)

Le microcontrôleur employé intègre un convertisseur analogique-numérique (CAN) 12 bits. Une représentation de cette fonction est donnée sur la figure 10.



- Q15.** Calculer le nombre décimal  $N$  de valeurs différentes qu'il sera possible d'obtenir après conversion dans ces conditions.
- Q16.** Calculer le quantum  $q$  de ce convertisseur sachant que la tension de référence est  $V_{ref} = 3 \text{ V}$ . Indiquer le résultat avec 3 chiffres significatifs. On rappelle que  $q = \frac{V_{ref}}{2^n}$ ,  $n$  étant le nombre de bits.
- Q17.** Calculer la valeur décimale de ce mot binaire  $[N] = 001011101111$ .

*Ce mot binaire correspond à la fréquence  $f$  de 110 Hz, pour laquelle la tension  $U_T$  à la sortie du convertisseur fréquence-tension est de 0,550 V.*

*À partir de ces données, une variation d'un bit permet d'obtenir une variation de tension à la sortie du CAN de  $7,32 \times 10^{-4} \text{ V}$ .*

- Q18.** Vérifier qu'une variation de la fréquence de 0,146 Hz correspond à une variation de la tension de sortie du CAN indiquée.

*Le constructeur souhaite obtenir une précision de la mesure au centième de hertz, mais ce CAN 12 bits n'apporte pas la précision voulue.*

- Q19.** Préciser comment obtenir une telle précision concernant le CAN.

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 11 sur 16



## PARTIE D : quelle est la stratégie de commande du moteur ? (5 points)

On se place dans le cas où une corde doit être tendue. Lorsqu'on la fait vibrer, le mot binaire  $[N_{\text{corde}}]$  correspondant à sa fréquence est comparé avec un signal numérique  $[N_{\text{compteur}}]$  issu d'un compteur. Le comptage périodique de  $[N_{\text{compteur}}]$  est réalisé jusqu'à une valeur finale  $[N_{\text{note}}]$  mémorisée, qui correspond à la fréquence exacte de la note à atteindre.

La comparaison des deux mots binaires permet donc de générer un signal de commande périodique  $u_{\text{com}}$  pour le pilotage du moteur selon la configuration suivante :

- si  $[N_{\text{corde}}] < [N_{\text{compteur}}]$  alors  $u_{\text{com}} = 5 \text{ V}$  ;
- si  $[N_{\text{corde}}] > [N_{\text{compteur}}]$  alors  $u_{\text{com}} = 0 \text{ V}$  .

**Q20.** Tracer le chronogramme de la tension  $u_{\text{com}}(t)$  sur le DOCUMENT RÉPONSE DR3.

On définit les grandeurs ci-dessous :

- $T$ , la période de comptage ;
- $T_H$ , la période d'horloge du compteur qui correspond à la largeur d'un palier du signal  $[N_{\text{compteur}}]$  ;
- $T_1$ , la durée pour laquelle  $[N_{\text{corde}}] = [N_{\text{compteur}}]$ .

**Q21.** Exprimer le rapport cyclique  $\alpha = \frac{\text{durée état haut}}{\text{période}}$  du signal  $u_{\text{com}}(t)$  en fonction de  $T$  et  $T_1$ .

Le rapport cyclique peut aussi s'exprimer par la relation  $\alpha = \frac{[N_{\text{note}}] - [N_{\text{corde}}]}{[N_{\text{note}}]}$ .

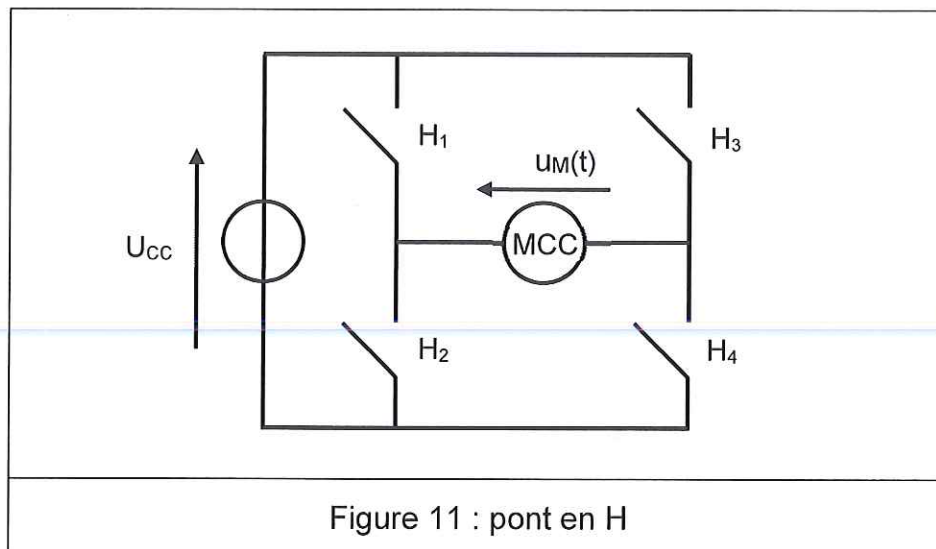
**Q22.** Indiquer de quelle façon le rapport cyclique  $\alpha$  évolue au fur et à mesure que la corde se tend, c'est-à-dire lorsque  $[N_{\text{corde}}]$  augmente.  
Préciser également la relation entre  $[N_{\text{corde}}]$  et  $[N_{\text{note}}]$  lorsque  $\alpha = 0$ .

BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 12 sur 16



La commande est ensuite appliquée à un pont en H dont le schéma de principe est donné sur la figure 11.

Les interrupteurs  $H_1$  à  $H_4$  sont des interrupteurs électroniques parfaits.



Les interrupteurs du pont en H sont commandés périodiquement avec un rapport cyclique  $\alpha$  réglable afin de faire varier la vitesse du moteur.

**Q23.** Indiquer, sur le DOCUMENT RÉPONSE DR3, dans chacun des intervalles de temps, les interrupteurs qui sont fermés, en tenant compte du chronogramme  $u_M(t)$ .

La valeur moyenne de la tension  $u_M(t)$  est notée  $U_{moy}$ .

Lors du fonctionnement :

- si  $U_{moy} > 0$  : le moteur tourne dans le sens 1, la corde se détend ;
- si  $U_{moy} < 0$  : le moteur tourne dans le sens 2, la corde se tend.

**Q24.** Justifier si la corde se tend ou non, en vous appuyant sur le chronogramme  $u_M(t)$ .

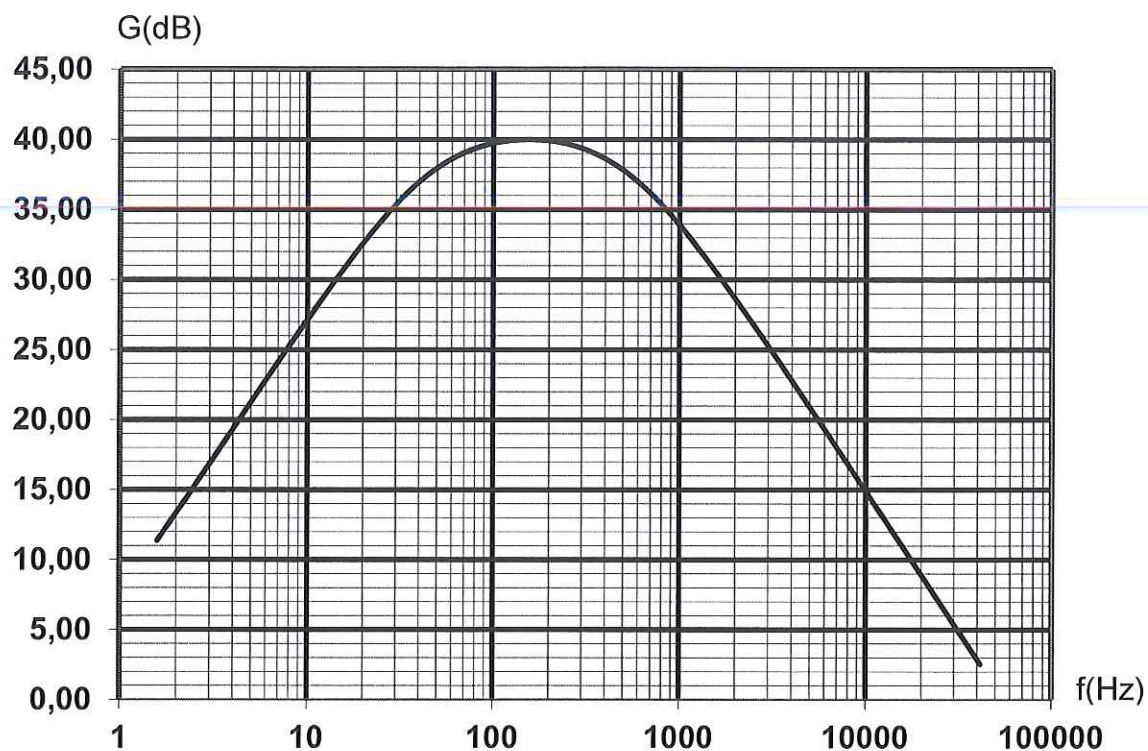
BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 13 sur 16

# DOCUMENT RÉPONSE DR1

## À rendre avec votre copie

RÉPONSE à Q6. : détermination des fréquences de coupures et bande passante du filtre.

Courbe de réponse du filtre actif

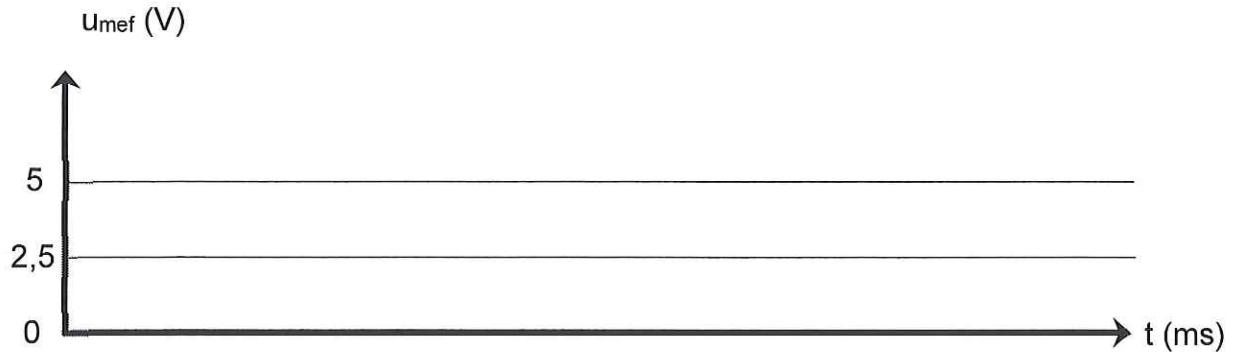
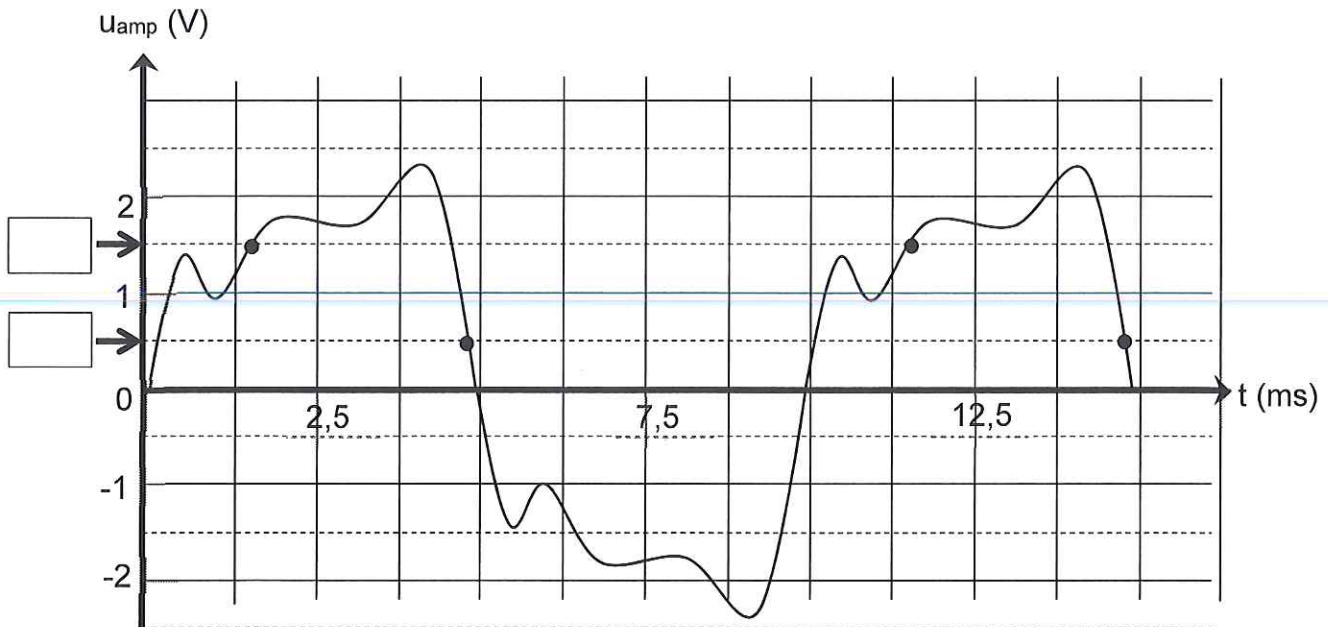


Fréquences de coupure (Hz)	$f_{cB}$	
	$f_{cH}$	
Largeur de la bande passante (Hz)	$\Delta f$	

## DOCUMENT RÉPONSE DR2

### À rendre avec votre copie

RÉPONSE à Q9. : représentation de  $u_{mef}(t)$



BTS CIM Unité U32 : sciences physiques appliquées	Durée : 2 h	Session 2021
CODE SUJET : 21 - CDE3SC - ME1	Coefficient : 1,5	Page 15 sur 16

# DOCUMENT RÉPONSE DR3

## À rendre avec votre copie

RÉPONSE à Q20. : chronogramme de  $u_{com}(t)$  à compléter

RÉPONSE à Q23. : intervalles H et chronogramme de  $u_M(t)$  à compléter

Échelle non respectée pour les nombres binaires

