

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2011

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures



coefficient : 7

L'emploi de toutes les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1 à 10. Les documents-réponses pages 7, 8, 9 et 10 sont à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de cinq parties A, B, C, D et E. Elles peuvent être traitées de façon indépendante.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Modernisation d'un ascenseur

Le parc français d'ascenseurs compte plus de 450 000 appareils dont la majorité est vétuste. La moitié du parc a en effet plus de 25 ans, voire même, pour un quart d'entre eux, plus de 40. C'est pourquoi, une loi « sécurité des ascenseurs existants » prévoit sa modernisation progressive.

Cette étude concerne donc la modernisation d'un ascenseur de grande capacité (jusqu'à 20 personnes à la vitesse de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$) équipant une tour de grande hauteur.

On rencontre encore parfois des moteurs à courant continu à excitation indépendante dans les salles des machines des immeubles d'un certain âge. En général, ils font partie d'un groupe Ward-Léonard qui permet de faire varier la vitesse du moteur à courant continu en l'alimentant par une génératrice à courant continu, couplée mécaniquement à un moteur asynchrone.

- La partie A du sujet étudie l'installation existante (groupe Ward-Léonard, figure 1) :

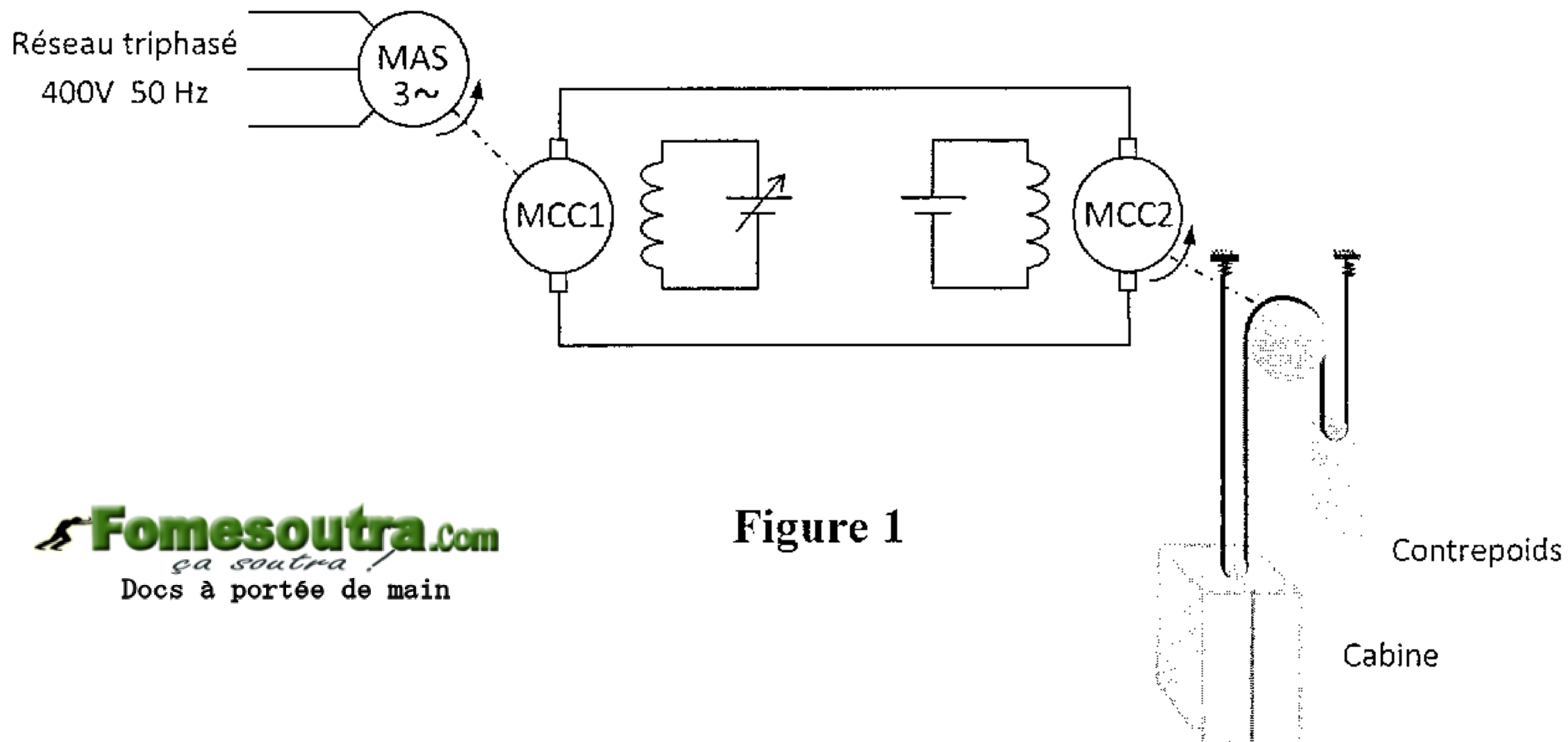


Figure 1

Les parties suivantes étudient différents constituants de l'appareil modernisé (figure 2) :

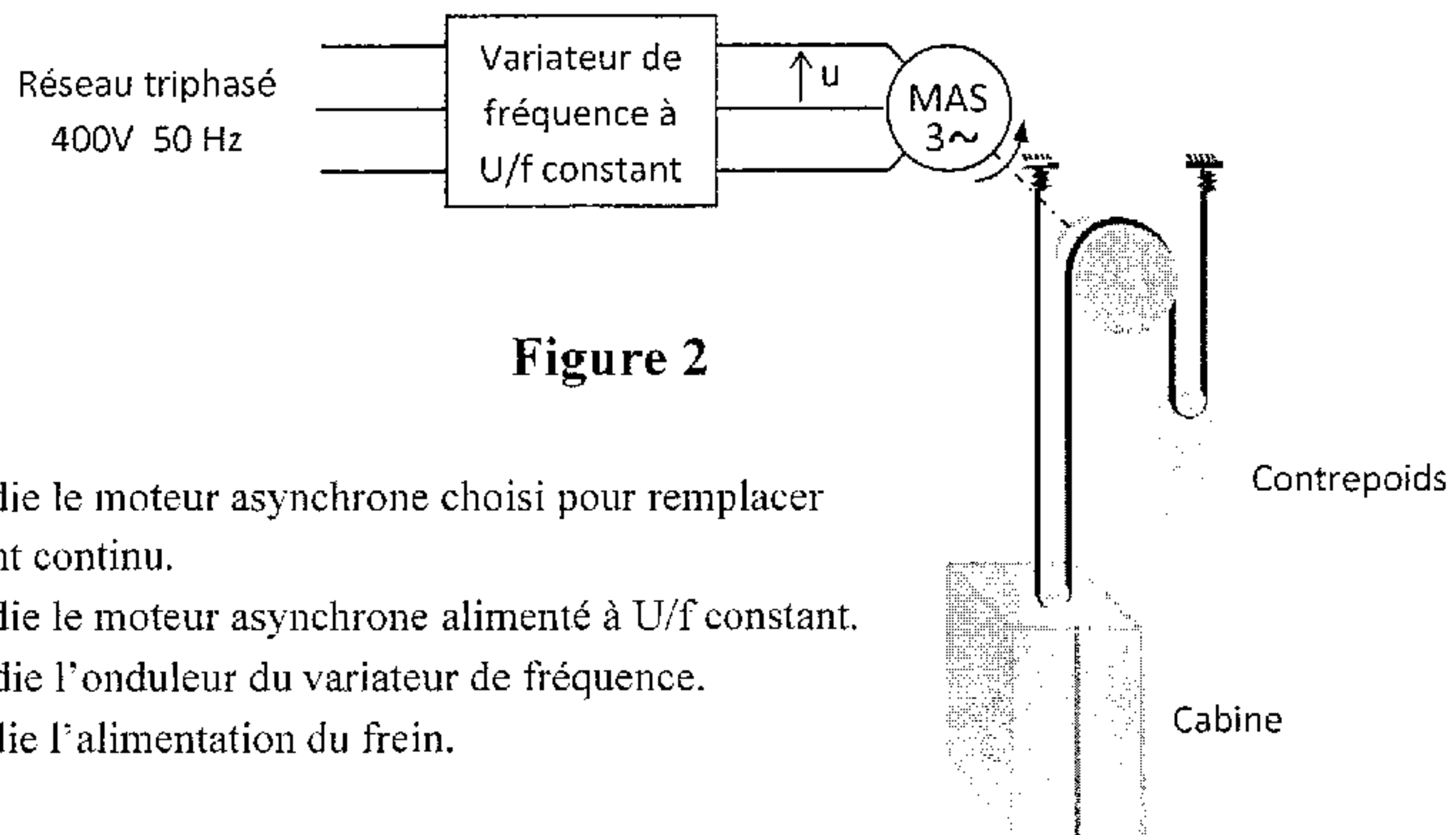


Figure 2

- La partie B étudie le moteur asynchrone choisi pour remplacer le moteur à courant continu.
- La partie C étudie le moteur asynchrone alimenté à U/f constant.
- La partie D étudie l'onduleur du variateur de fréquence.
- La partie E étudie l'alimentation du frein.

Partie A : étude de l'installation existante (figure 1 page 2)

Le groupe Ward-Léonard représente l'ancienne génération des treuils d'ascenseur à traction à câbles. Il est nécessaire de le remplacer puisqu'il demande beaucoup d'entretien et présente un mauvais rendement.

Analyser le schéma de la figure 1, et répondre aux questions du document-réponse 1 page 7.

Partie B : étude du moteur asynchrone triphasé de l'ascenseur modernisé (figure 2 page 2)

Le moteur proposé est un moteur asynchrone aux caractéristiques très atypiques dans la mesure où il est conçu pour fonctionner à basse vitesse. On relève sur sa plaque signalétique les indications suivantes :

27 kW	224 tr.min ⁻¹	31,5 Hz
400 V	72,7 A	cos φ = 0,68

Le couplage triangle est déjà réalisé dans la boîte à bornes.

On utilise le réseau triphasé 400V ; 50Hz.

1. Le moteur possède 8 paires de pôles. Déterminer sa vitesse de synchronisme n_s lorsqu'il est alimenté à sa fréquence nominale $f = 31,5$ Hz.

2. Quelle est la valeur efficace nominale I_N de l'intensité du courant en ligne ? Calculer la valeur efficace nominale J_N de l'intensité du courant qui traverse un enroulement.

3. Calculer pour le fonctionnement nominal :

3.1. le moment du couple utile T_{uN} ;

3.2. la puissance absorbée P_{aN} ;

3.3. le rendement η_N .



Partie C : étude du moteur alimenté à U/f constant

Pour fonctionner à basse vitesse, le moteur est alimenté par un variateur qui permet de régler la fréquence en maintenant le rapport U/f constant. Pour la fréquence $f = 31,5$ Hz, la valeur efficace de la tension entre deux phases du moteur est $U_M = 400$ V.

La vitesse v_{cab} de la cabine de l'ascenseur est proportionnelle à la fréquence de rotation n du moteur. Pour une fréquence de rotation $n = 225$ tr.min⁻¹, la vitesse de la cabine de l'ascenseur est $v_{cab} = 2,5$ m.s⁻¹.

Sur le document-réponse 2 page 8, on a représenté la partie utile de la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur à $f = 31,5$ Hz.

On rappelle que dans un fonctionnement à U/f constant, cette caractéristique se déplace parallèlement à elle-même lorsque la fréquence varie.

Le moment du couple résistant noté T_R est constant et égal à 1080 N.m.

1. Tracer, sur le document-réponse 2 page 8, la caractéristique $T_R = f(n)$.
2. Indiquer clairement sur le document-réponse 2 page 8, l'emplacement du point de fonctionnement P pour le moteur alimenté à $f = 31,5$ Hz couplé à sa charge mécanique. Déterminer la fréquence de rotation n du moteur pour ce point de fonctionnement.
3. En mode maintenance, la fréquence f est réglée à 8 Hz.
 - 3.1. Tracer sur le document-réponse 2 page 8, la partie utile de la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur pour une fréquence de 8 Hz.
 - 3.2. Déterminer la nouvelle fréquence de rotation n' du moteur et en déduire la vitesse de la cabine.
 - 3.3. Calculer la puissance utile développée par le moteur pour ce point de fonctionnement.
4. Afin d'assurer un positionnement précis de la cabine, le moteur doit être capable de décélérer jusqu'à maintenir la cabine à l'arrêt (et ensuite le frein électromécanique sera serré).
 - 4.1. Tracer sur le document-réponse 2 page 8, la partie utile de la caractéristique mécanique $T_u = f(n)$ du moteur permettant de vaincre le couple résistant T_R à l'arrêt.
 - 4.2. Déterminer la fréquence de synchronisme n_{sa} et en déduire la fréquence f_a .
 - 4.3. Calculer dans ce cas la valeur efficace U_a de la tension entre phases.

Partie D : étude de l'onduleur

L'onduleur en question est un onduleur à MLI délivrant un système triphasé de tensions. Cependant, nous nous contenterons ici simplement d'illustrer le principe de l'onduleur. L'étude portera donc sur un onduleur monophasé à commande symétrique alimentant un enroulement du moteur asynchrone.

Aucune connaissance spécifique à l'onduleur à quatre interrupteurs n'est nécessaire pour traiter cette partie.

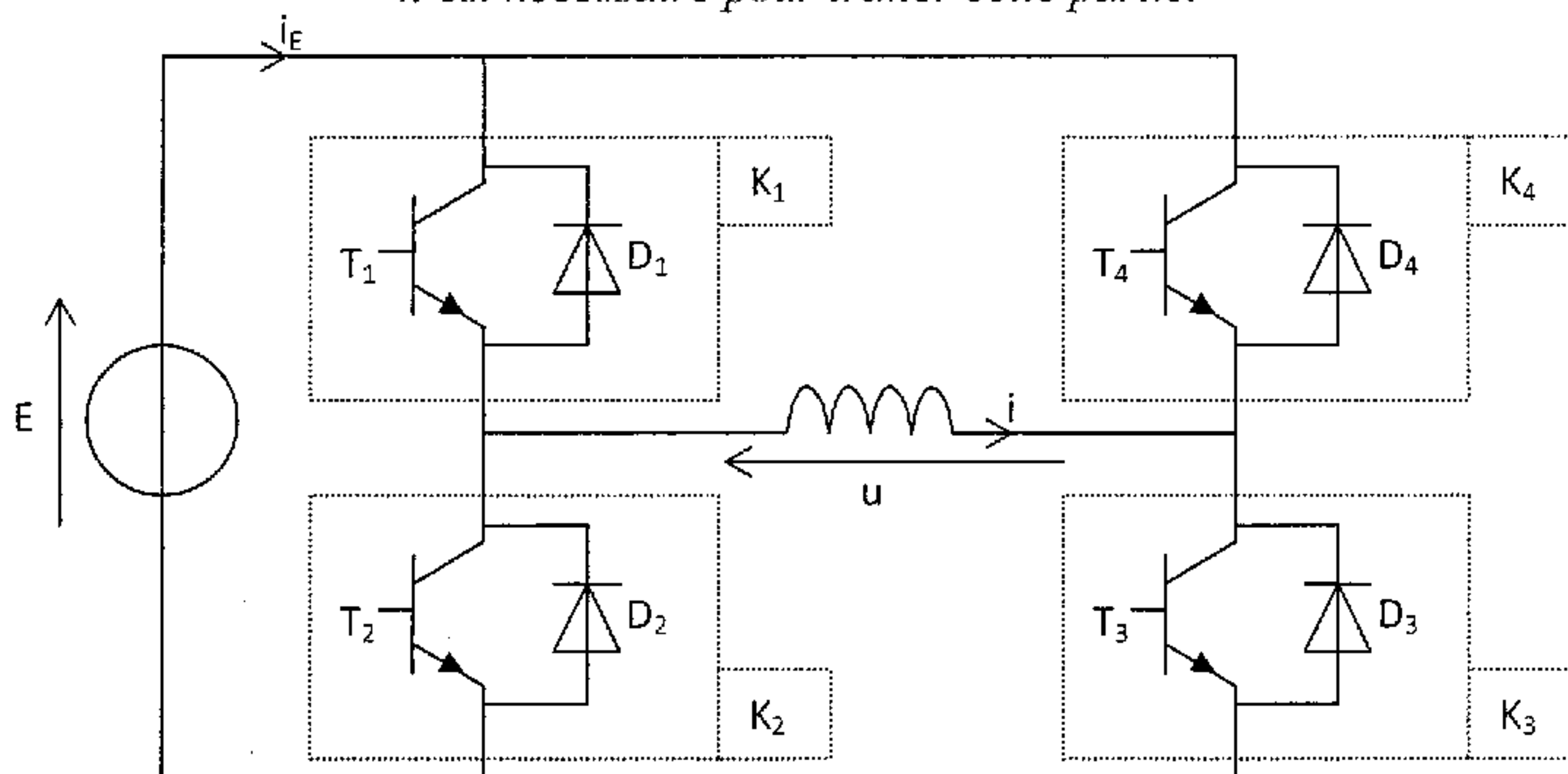


Figure 3

L'onduleur est alimenté par une source de tension continue E.

On a relevé à l'oscilloscope (oscillogrammes figure 4 du document-réponse 3 page 9) :

- en voie CH1 : la tension u aux bornes de l'enroulement avec une sonde différentielle d'atténuation 1/100 ;
- en voie CH2 : l'intensité i du courant traversant l'enroulement avec une sonde de courant de sensibilité 10 mV/A.

Pour simplifier l'étude, on a supposé le courant parfaitement sinusoïdal dans la charge.

1. Les blocs K_1 , K_2 , K_3 et K_4 sont des interrupteurs électroniques constitués d'un transistor et d'une diode. Pourquoi peut-on dire qu'ils sont réversibles en courant ?
2. Préciser, en concordance de temps avec les oscillogrammes de la figure 4 du document-réponse 3 page 9, quels sont les interrupteurs (K_1 , K_2 , K_3 , K_4) commandés à la fermeture.
3. Déterminer la fréquence f de la commande de l'onduleur.
4. Déterminer la valeur crête $\hat{U}$ de la tension u .
5. Calculer, par exemple par la méthode des aires, la valeur efficace U de la tension u .
6. Déterminer la valeur crête $\hat{I}$ de l'intensité du courant i .
7. Calculer la valeur efficace I de l'intensité du courant i .
8. Quelle est l'expression de la puissance instantanée p reçue par l'enroulement ? En déduire, en concordance de temps avec les oscillogrammes de la figure 4 du document-réponse 3 page 9, le signe de cette puissance p et la nature de la phase de fonctionnement (A : alimentation ; R : récupération).



Partie E : étude de l'alimentation du frein

La bobine de commande du frein électromécanique est alimentée par un pont redresseur à 4 diodes, selon la figure 5 du document-réponse 4 page 10.

L'entrée du pont de diodes est branchée entre phase et neutre du réseau. La tension v est donc de fréquence 50 Hz et a pour valeur efficace $V = 230$ V.

L'inductance de la bobine du frein est suffisamment importante pour que le courant soit considéré comme parfaitement lissé et constant : $i_c(t) = \langle i_c(t) \rangle = I_c = 3,35$ A.

1. Les diodes sont considérées comme parfaites. Que cela signifie-t-il ?
2. Donner l'expression de la tension moyenne $\langle u_c \rangle$ aux bornes de la charge, en fonction de la valeur efficace V . Calculer sa valeur.
3. Etablir la relation entre u_c , i_c et les éléments L et R de la charge.

4. En déduire, sachant que $\langle L \frac{di_c(t)}{dt} \rangle = 0$, la relation entre les valeurs moyennes $\langle u_c \rangle$ et $\langle i_c \rangle$. Calculer la valeur de la résistance R de la charge.

5. Calculer la puissance dissipée dans la charge.

6. Le frein ne se desserre pas. On souhaite visualiser à l'oscilloscope les tensions v et u_c pour vérifier le bon fonctionnement du pont redresseur à 4 diodes.

Les sondes différentielles utilisées ont un rapport d'atténuation 1/100.

6.1. Représenter les branchements de l'oscilloscope sur la figure 5 du document-réponse 4 page 10.

6.2. Représenter les oscillogrammes attendus, en concordance de temps :

- v(t) en voie CH1 sur la figure 6 du document-réponse 4 page 10 ;
- $u_c(t)$ en voie CH2 sur la figure 7 du document-réponse 4 page 10.

6.3. Lors de la vérification, on relève les oscillogrammes de la figure 8. Ces oscillogrammes montrent qu'il y a un dysfonctionnement du pont redresseur. Quelles diodes sont forcément en bon état ? Quelles diodes sont à contrôler ?

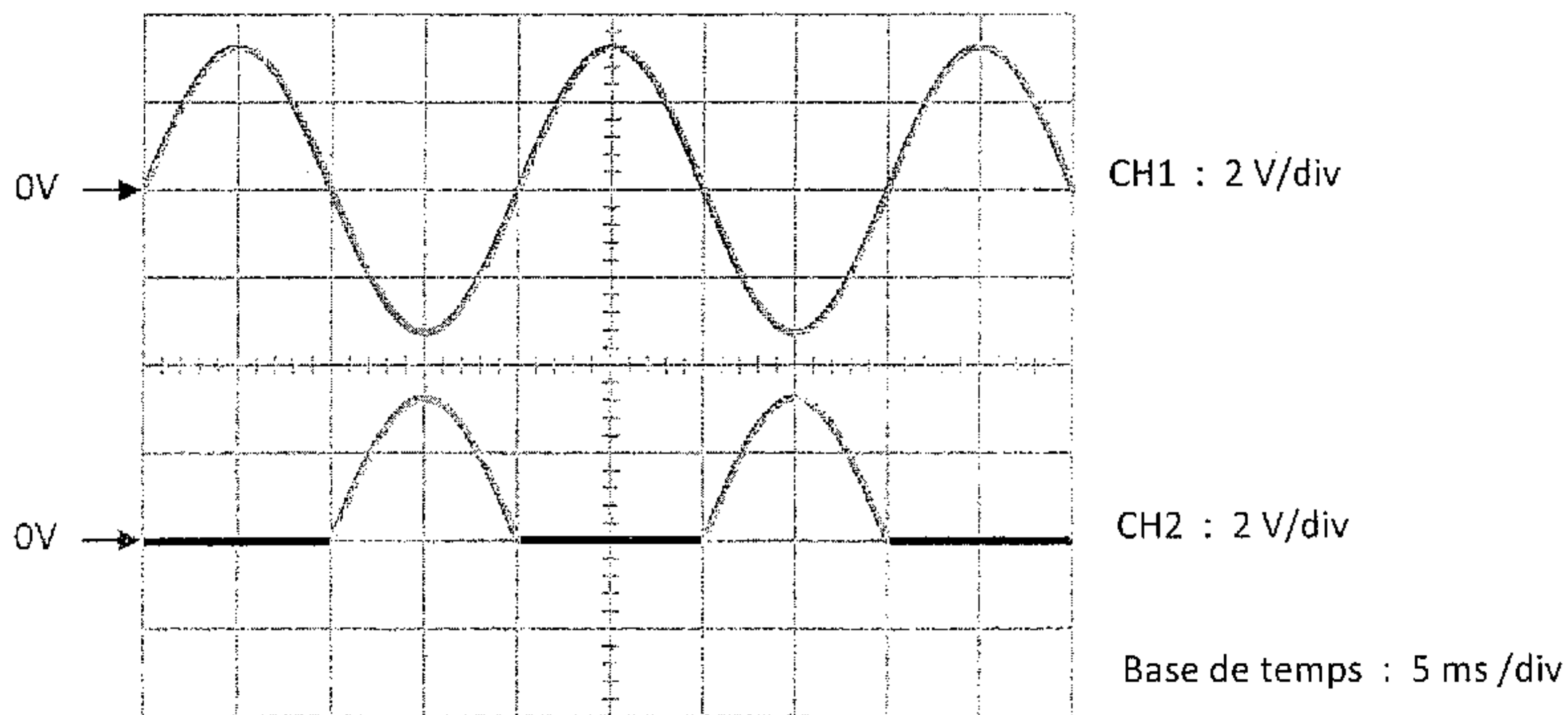


Figure 8

DOCUMENT-REPONSE 1 (à rendre avec la copie)

Cocher les bonnes réponses



1. Lors d'une phase de montée à pleine charge de l'ascenseur, indiquer le comportement de chaque machine électrique :

MAS	☐	Moteur
	☐	Génératrice

MCC1	☐	Moteur
	☐	Génératrice

MCC2	☐	Moteur
	☐	Génératrice

2. Quel paramètre est réglé sur la machine à courant continu MCC1?

☐	la fréquence de rotation
☐	le courant d'excitation
☐	le couple mécanique

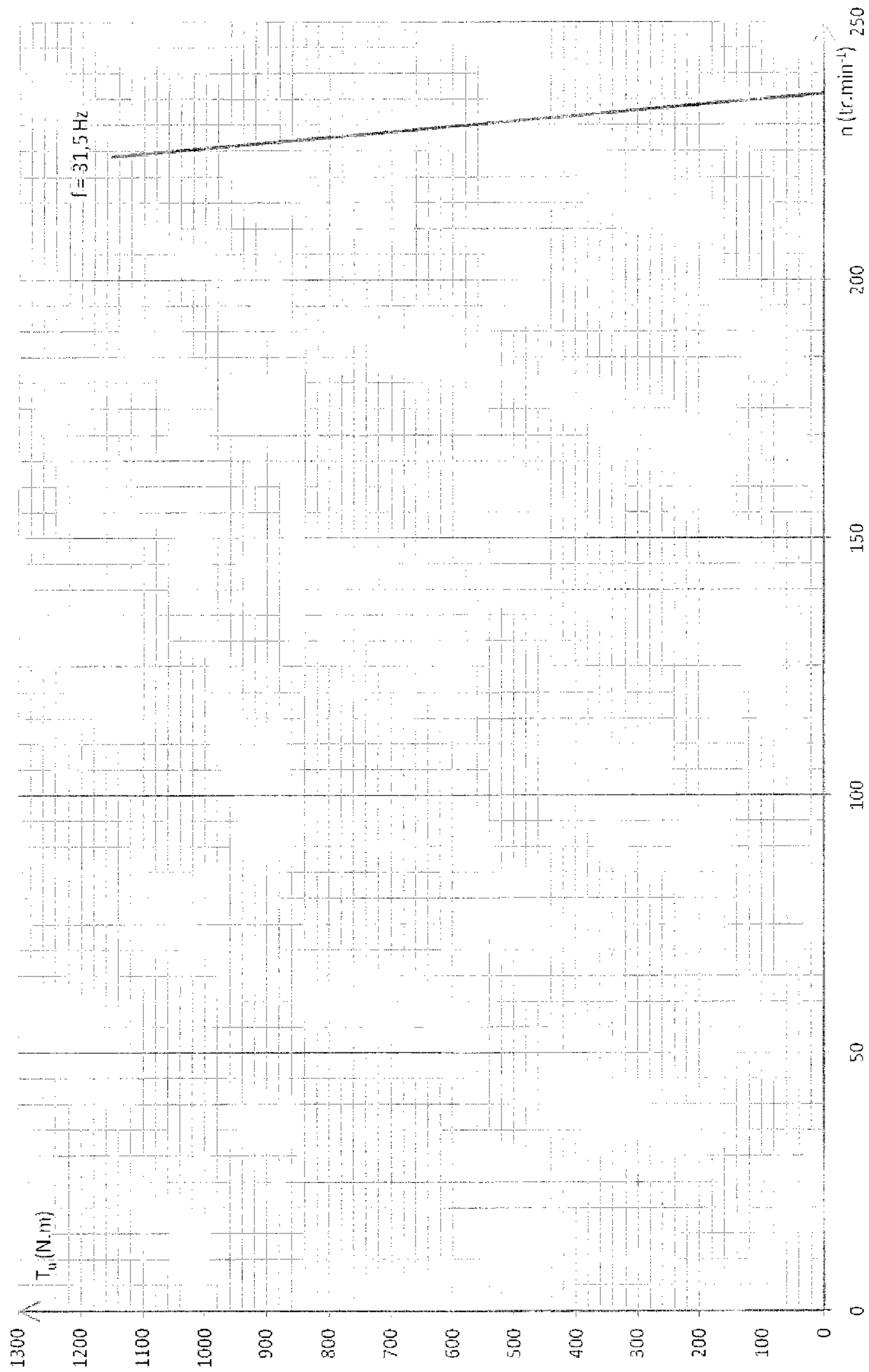
3. Quel moyen d'action (conséquence du réglage précédent) permet de faire varier la vitesse de la machine à courant continu MCC2 ?

☐	action sur la tension aux bornes de l'induit de MCC2
☐	action sur le courant d'excitation de MCC2
☐	action sur la fréquence d'alimentation de MCC2

4. Si, lors de la rénovation, on souhaitait conserver le moteur de traction (MCC2) du groupe Ward-Leonard, par quoi pourrait-on remplacer l'ensemble MAS-MCC1 ?

☐	un hacheur
☐	un pont tout thyristors
☐	un redresseur à diodes suivi d'un onduleur

DOCUMENT-REPONSE 2 (à rendre avec la copie)



DOCUMENT-REPONSE 3 (à rendre avec la copie)



CH1 : sonde différentielle d'atténuation 1/100

CH2 : sonde de courant de sensibilité 10 mV/A

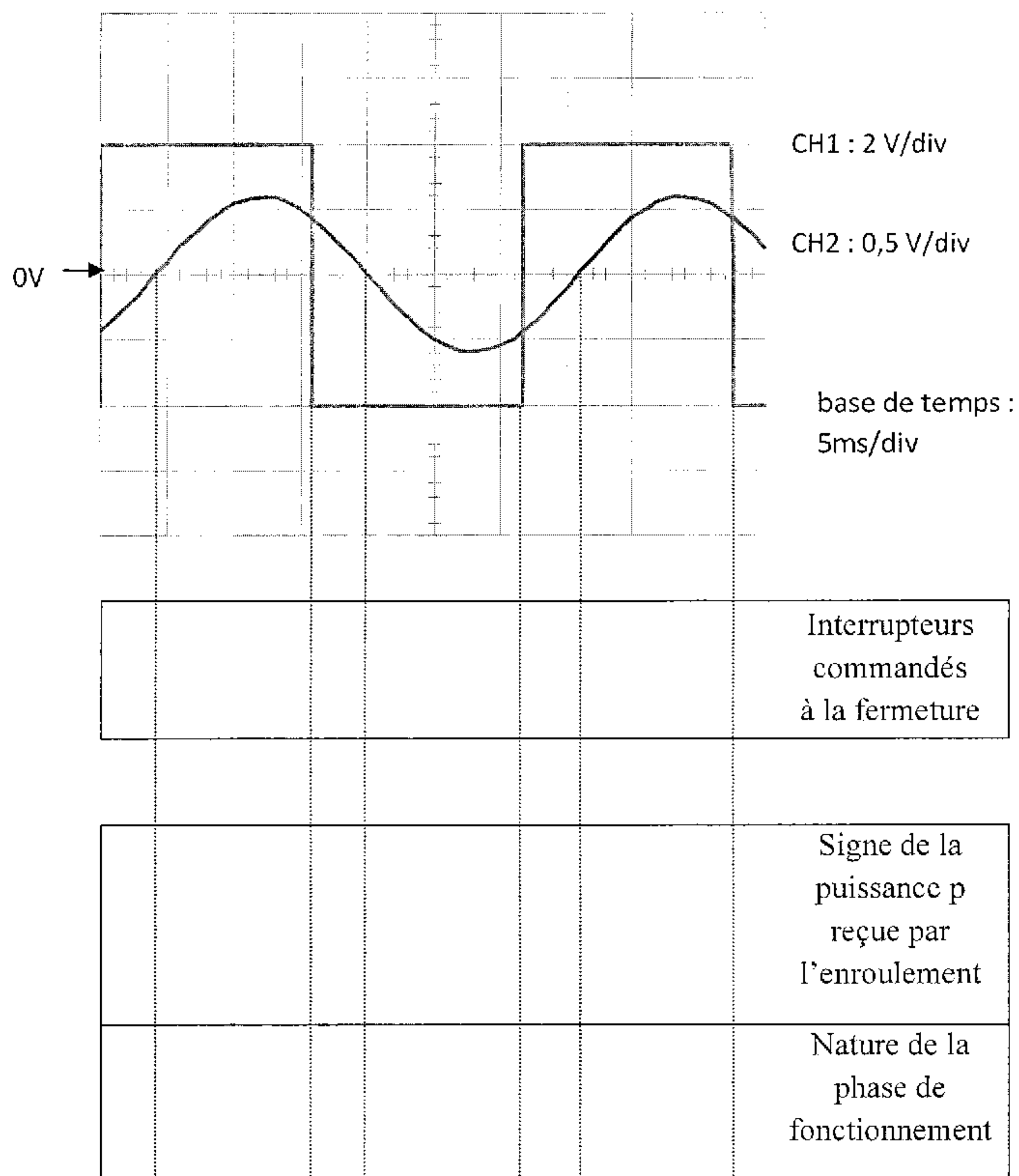


Figure 4

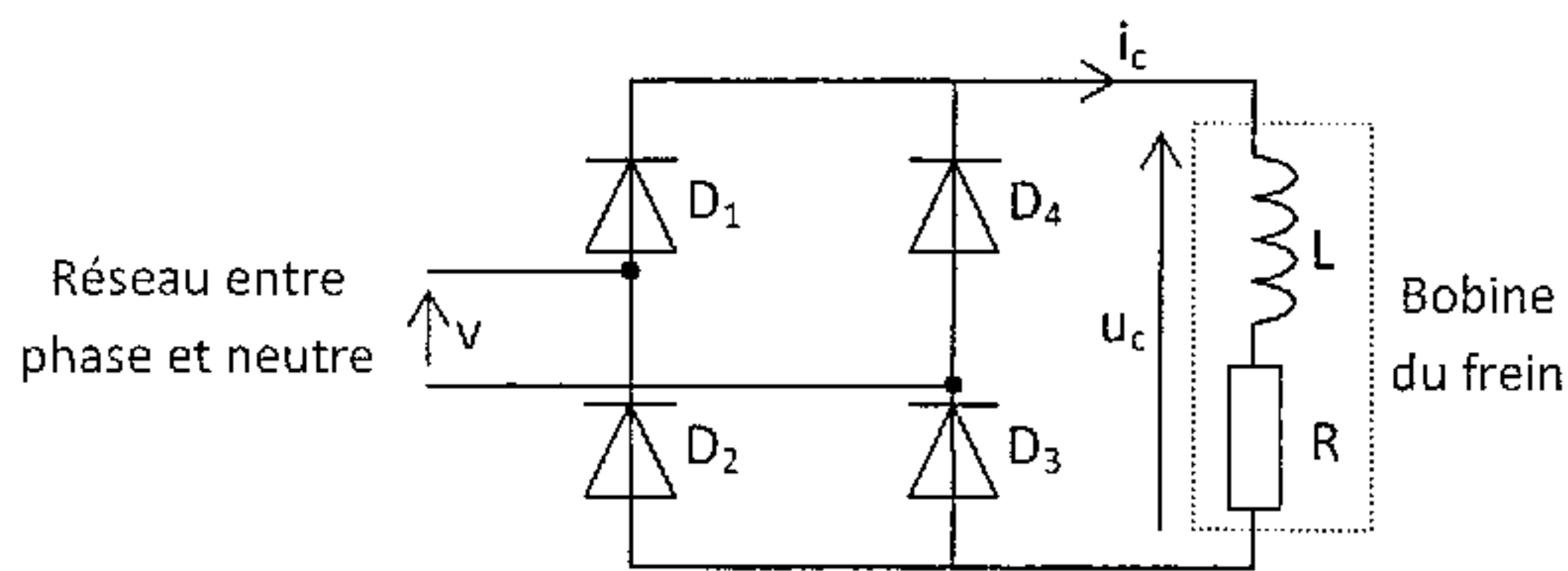


Figure 5

Représentation d'une sonde différentielle :



CH1 et CH2 : sonde différentielle d'atténuation 1/100

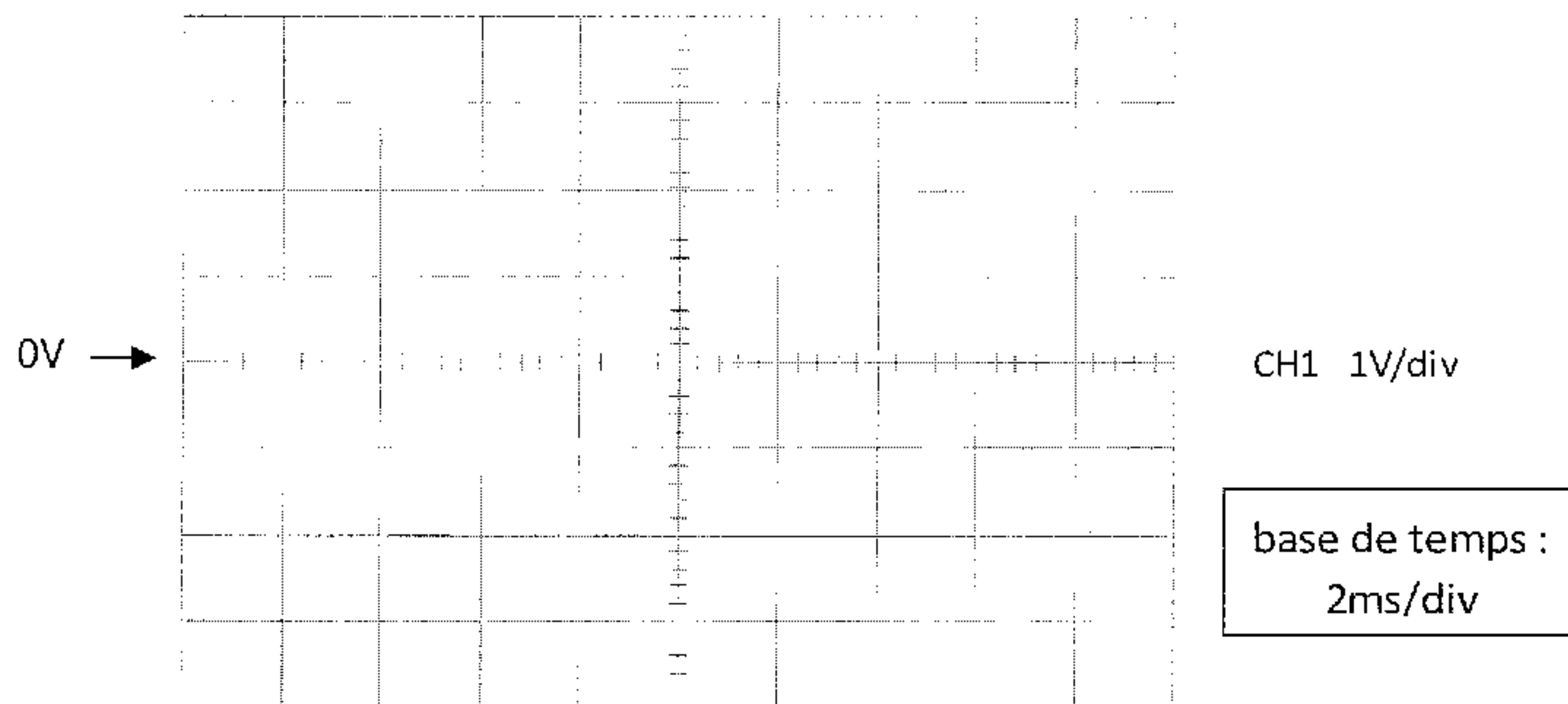


Figure 6

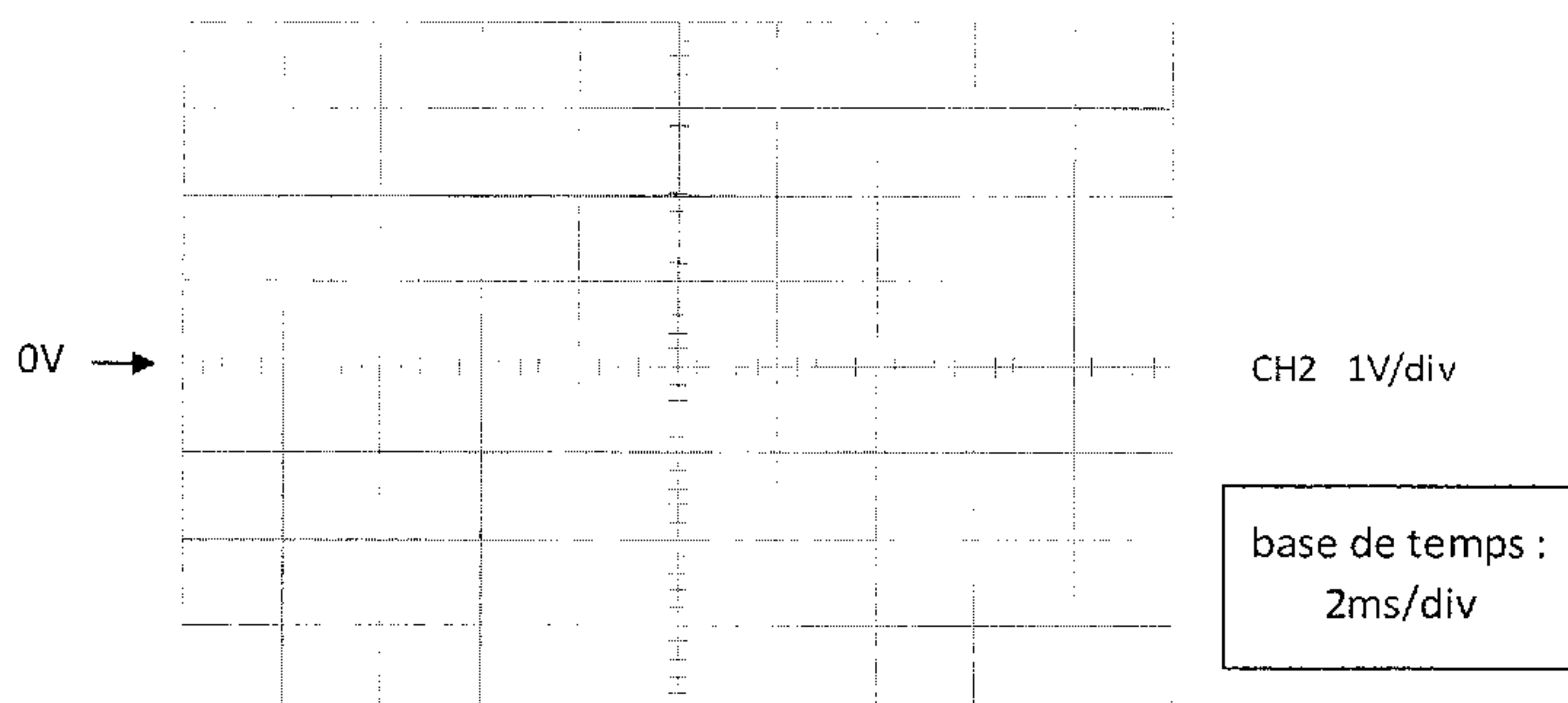


Figure 7