

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL ET
RÉGULATION AUTOMATIQUE**

E3 Sciences physiques

U32 - PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n° 99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

Aucun document autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

Les **DOCUMENTS RÉPONSES** (pages 8 à 15) sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie, l'autre pouvant servir de brouillon.

=====

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 15 pages, numérotées de 1/15 à 15/15.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera alors clairement et précisément ces hypothèses.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2017
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA	Page 1/15

Étude d'une alimentation en eau potable

Ce sujet comporte 4 parties pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.

La réglementation qui encadre la production et la distribution de l'eau potable impose des normes de qualité. Pour cela, de nombreux paramètres sont contrôlés dès le captage de l'eau dans son milieu naturel.

Description de l'installation :

L'eau est pompée à partir de différents forages et dirigée dans des cuves tampons avant de parvenir à l'usine pour la mise en bouteille, palettisation et stockage.

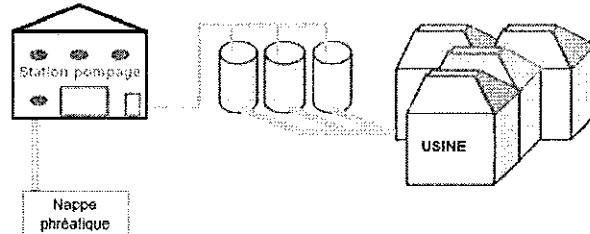


Figure 1

Partie A - Étude de la pompe et validation du choix du moteur

La pompe et son moteur d'entraînement sont immergés au fond du forage. Le moteur est piloté par un variateur de vitesse, commandé par un automate. La pompe est reliée mécaniquement au moteur par un accouplement direct, par conséquent les deux tournent à la même vitesse de rotation.

A.1. Dimensionnement de la pompe

Le niveau d'eau dans le puits notée H varie entre une valeur minimale et une valeur maximale. Le débit varie entre $Q_{min} = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et $Q_{max} = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ suivant la valeur de H . La pompe choisie est un modèle centrifuge immergé. Sa vitesse maximale de rotation est de $3\,000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

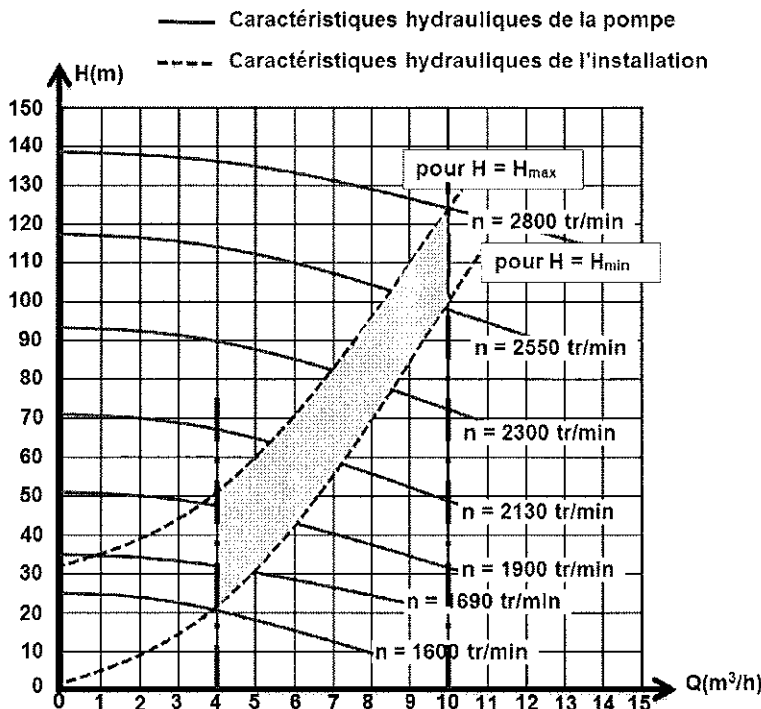


Figure 2

La surface grisée sur la figure 2 correspondant à l'ensemble des points de fonctionnement possibles de la pompe.

CAE3PA

- Q1. En exploitant la **figure 2**, déterminer la plage de valeur de vitesse de rotation (n_{\min} et n_{\max}) de la pompe nécessaire pour adapter le fonctionnement à tous les cas de figure.
- Q2. La pompe possède un rendement mécanique η_{pompe} de 66 % pour un débit $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pour une puissance hydraulique de la pompe $P_{\text{hydrau}} = 3,4 \text{ kW}$, déterminer la puissance utile P_u que devra délivrer le moteur d'entraînement.

Le moteur d'entraînement est de type asynchrone triphasé, de puissance utile **5,4 kW** et de vitesse nominale **2 850 tr.min⁻¹**.

- Q3. À l'aide des informations précédentes, valider le choix du moteur.

A.2. Étude du moteur asynchrone triphasé en fonctionnement nominal

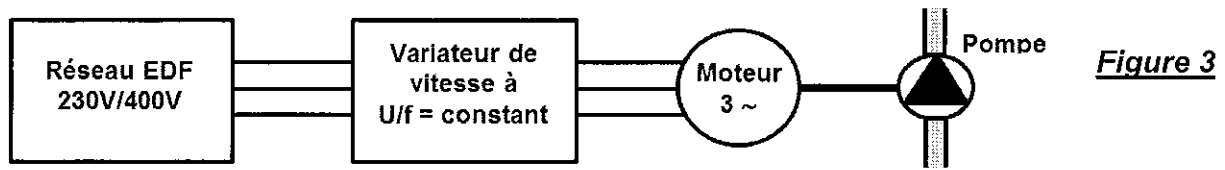
La plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé entraînant la pompe.

5,4 kW	$\cos\varphi_N = 0,82$	$\Delta : 230 \text{ V} - 22,5 \text{ A}$
50 Hz	2 850 tr.min⁻¹	Y : 400 V - 13,0 A

- Q4. Le réseau est caractérisé par des tensions composées de valeur efficace nominale $U_N = 400 \text{ V}$ et la fréquence de 50 Hz. Déterminer le couplage à réaliser, en justifiant le choix, puis compléter le schéma du **document réponse 1 page 9** en réalisant le couplage entre l'alimentation et le moteur.
- Q5. La vitesse de synchronisme étant de 3 000 tr.min⁻¹, déterminer le nombre de paires de pôles de ce moteur.

En exploitant la plaque signalétique du moteur, déterminer, pour le fonctionnement nominal.

- Q6. La valeur du glissement nominal g_N .
- Q7. Le rendement nominal η_N .
- Q8. Le moment du couple utile nominal T_{uN} .
- Q9. Placer sur le **document réponse 2 page 9**, le point A correspondant au fonctionnement nominal du moteur. Placer également le point B correspondant au fonctionnement à vide du moteur.
Pour cela on supposera que la fréquence de rotation à vide n_0 est égale à la fréquence de synchronisme n_s .
- Q10. En utilisant le **document réponse 3 page 9**, en déduire la valeur Q_N du débit obtenu lorsque le moteur de pompe est alimenté dans les conditions nominales de fonctionnement.
Vérifier que le débit maximum attendu de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ est envisageable.

Partie B - Étude du variateur à U/f constant

Le moteur asynchrone de la pompe **figure 3** est piloté par un variateur de vitesse. Celui-ci élabore une commande dite à U/f constant.

Q11. Compléter le schéma synoptique donné sur le **document réponse 4 page 13** en précisant sur les pointillés le nom du convertisseur et le type de conversion réalisée par chaque bloc.

≡ : pour un signal continu

~ : pour un signal alternatif

Une période de fonctionnement de l'onduleur triphasé est représentée sur le **document réponse 5 page 11**. L'état des interrupteurs H_1 et H_4 y est indiqué.

Tous les éléments interrupteurs et diodes, sont supposés idéaux.

On s'intéresse à la tension aux bornes de la charge $v_{charge}(t)$. En utilisant le document réponse 5 pour les questions Q12 à Q15 :

Q12. Déterminer la valeur moyenne $\langle v_c \rangle$ de la tension instantanée $v_{charge}(t)$ représentée sur une période.

Q13. Déterminer la fréquence f de la tension $v_{charge}(t)$.

Q14. Indiquer pour mesurer la valeur efficace de $v_{charge}(t)$:

- la nature de l'appareil à utiliser,
- son branchement à dessiner sur le schéma,
- la ou les positions possibles (AC, AC+DC, DC) du commutateur.

Q15. Indiquer les intervalles de temps où les interrupteurs H_3 et H_2 doivent être passants pour obtenir la forme de la tension v_{charge} observée.

Q16. Placer le point de fonctionnement de l'ensemble moteur/pompe sur le **document réponse 2 page 9** pour la fréquence de rotation $n_m = 2\,300 \text{ tr.min}^{-1}$ correspondant à un débit $Q_m = 8 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. En déduire le moment du couple utile T_{u2} délivré par le moteur.

Q17. Tracer la caractéristique mécanique du moteur C_2 correspondante.

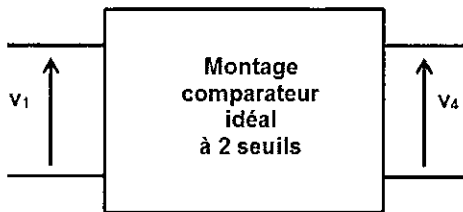
On rappelle que la partie utile de la caractéristique mécanique du moteur se déplace parallèlement à elle-même dans le cas d'un fonctionnement à $U/f = \text{constant}$.

Q18. D'après le tracé de la caractéristique mécanique du moteur C_2 précédent, **document réponse 2 page 9**, justifier la fréquence de l'onduleur $f_2 = 40 \text{ Hz}$ et la valeur efficace de la tension composée $U_{2\text{eff}} = 320 \text{ V}$.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2017
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA	Page 4/15

Partie C - Commande d'une alarme

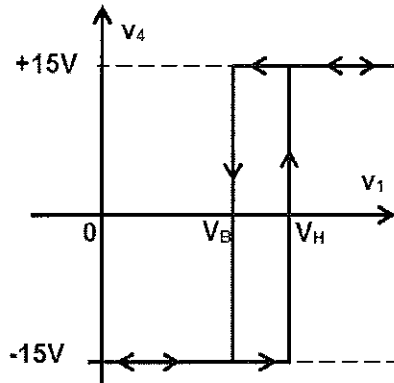
L'image du niveau dans chaque cuve tampon est fournie par une tension v_1 . Le montage comparateur de la figure 4 permet de gérer cette alarme.



Le seuil niveau bas est : $V_B = 11\text{ V}$

Le seuil niveau haut est : $V_H = 14\text{ V}$

Figure 4



Si le niveau d'eau dans la cuve monte trop, une alarme se déclenche.

- Lorsque $V_4 = +15\text{ V}$ l'alarme est en marche.
- Lorsque $V_4 = -15\text{ V}$ l'alarme est à l'arrêt.

Q19. À l'aide de la figure 4, tracer la courbe donnant v_4 en fonction du temps sur le document réponse 6 page 13 et compléter le tableau donnant l'état de l'alarme. (M = marche ; A = arrêt).

Partie D - Étude de la turbidité de l'eau captée

La turbidité caractérise l'état plus ou moins trouble d'un liquide, elle est liée à la présence dans le liquide de substances non dissoutes comme de l'argile, du sable, du calcaire, des algues... Ces particules en suspension vont diffuser ou absorber de la lumière.

Unité de la turbidité : NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

La valeur pour l'eau potable doit être comprise entre 0,02 et 0,5 NTU.

La méthode utilisée est décrite dans la norme ISO 7027. Dans le cas des faibles turbidités, on mesure la quantité de lumière diffusée à 90° par les particules présentes dans le liquide : c'est la néphélométrie représentée figure 5. La source lumineuse émet dans l'infrarouge.

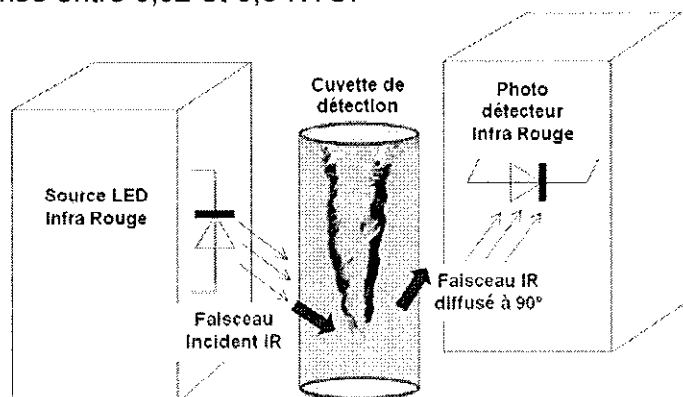


Figure 5: principe de la mesure de turbidité par néphélométrie

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE	Session 2017
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA Page 5/15

CAE3PA

La lumière diffusée est captée par un photodétecteur infra-rouge, dont le signal est conditionné et traité numériquement (schéma de la **figure 6**).

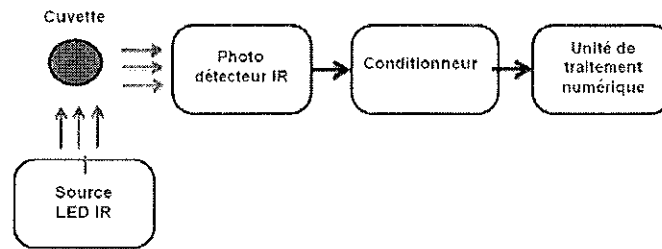


Figure 6 : schéma de principe de la chaîne de mesure

L'objectif de la partie qui suit est l'étude de l'unité de traitement numérique.

La tension v_e issue du conditionneur est appliquée à l'unité de traitement numérique conformément à la **figure 6**. La chaîne de traitement numérique est représentée à la **figure 7**.

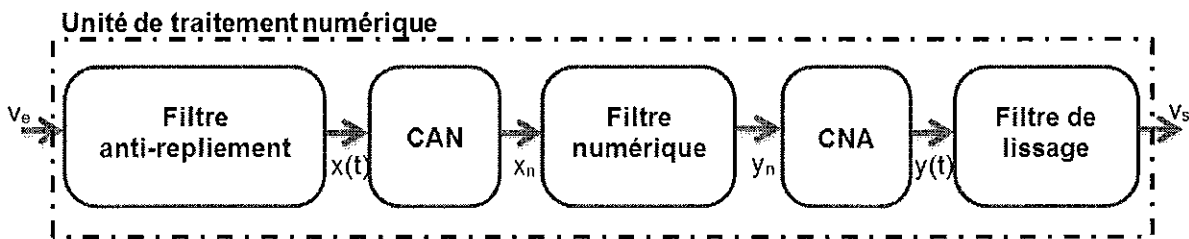


Figure 7

➤ Étude de la résolution du turbidimètre

Le turbidimètre utilise un microcontrôleur possédant un convertisseur analogique numérique (CAN) de 10 bits, avec une tension de pleine échelle V_{PE} égale à 5 V.

Q20. Déterminer la valeur q du quantum du CAN.

Après étalonnage de l'appareil, on mesure pour une turbidité comprise entre 0 et 5 NTU, on obtient une tension analogique comprise entre 0 et 5 V.

La résolution r est donnée par la relation suivante : $r = q \cdot \frac{\Delta T_u}{\Delta V}$

Q21. Calculer la résolution r . Indiquer si elle est conforme à la valeur souhaitée sachant que sa résolution r doit être inférieure ou égale à 0,001 NTU.

➤ Étude des caractéristiques du filtre numérique

Pour atténuer l'effet des bruits, on décide de programmer un filtre numérique à moyenne glissante.

L'algorithme d'un tel filtre est défini par son équation : $y_n = \frac{x_n + x_{n-1} + \dots + x_{n-7}}{8}$

- x_{n-k} représente la valeur numérique fournie par le CAN à l'instant $t = (n - k) \cdot T_e$.
- y_n représente la valeur en sortie du filtre numérique à l'instant $t = n \cdot T_e$.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2017
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA	Page 6/15

CAE3PA

Q22. Le filtre est-il récursif ou non récursif ? Justifier.

Q23. Sur le **document réponse 7 page 15**, on donne la séquence $\{x_n\}$ des échantillons présents à l'entrée du filtre. Cette séquence est représentative d'une tension continue perturbée par une impulsion parasite. Compléter le tableau du **document réponse 7 page 15** en calculant la séquence $\{y_n\}$ obtenue en sortie du filtre et représenter graphiquement la séquence $\{y_n\}$.

➤ Réponse en fréquence du filtre numérique

Q24. Montrer, à partir de l'équation de récurrence, que la fonction de transfert en z du filtre est : $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{8} \times (1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-7})$.

Dans la pratique, la chaîne de traitement numérique complète (CAN, filtre numérique et CNA) effectue les opérations de blocage, d'échantillonnage et de filtrage.

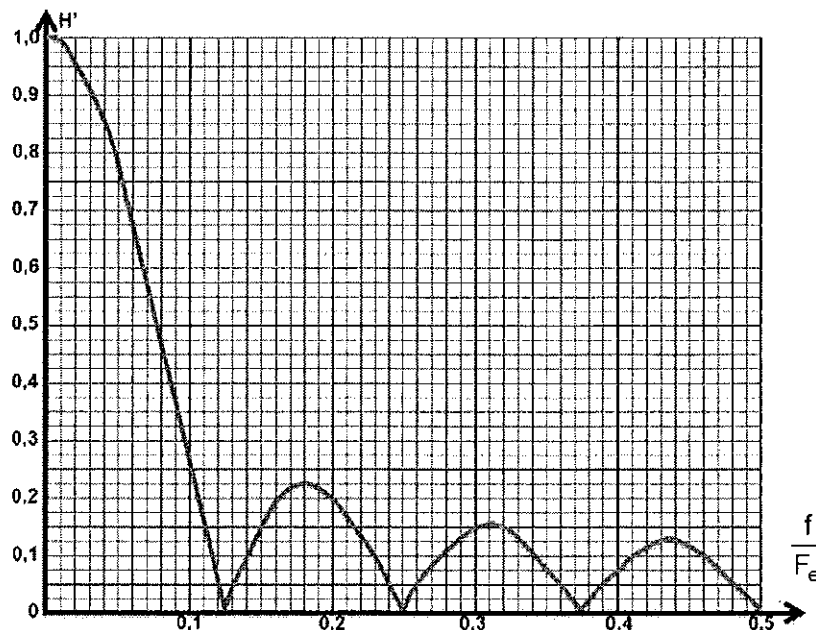


Figure 8

Q25. La courbe de réponse en fréquence réduite du module H' de la fonction de transfert de la chaîne de traitement numérique en fonction de $\frac{f}{F_e}$ est donnée **figure 8**. En déduire la nature du filtre.

Q26. On appelle f_c la fréquence de coupure à -3 dB du filtre. Sachant que le rapport $f_c/F_e = 0,056$, déterminer graphiquement la valeur de la fonction de transfert H' à la fréquence de coupure. (**Document réponse 8 page 15**) Justifier la valeur de H' , en référence à la définition de la bande passante à -3 dB. Sachant que la fréquence de coupure est de $1,4$ Hz, calculer la fréquence d'échantillonnage F_e .

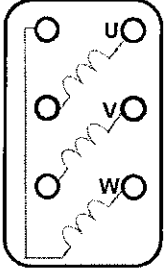
Q27. En utilisant le théorème de Shannon, indiquer au-delà de quelle fréquence théorique le signal ne sera pas correctement échantillonné.

Fin de l'énoncé

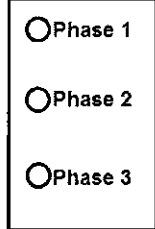
BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2017
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : CAE3PA	Page 7/15

DOCUMENT RÉPONSE 1

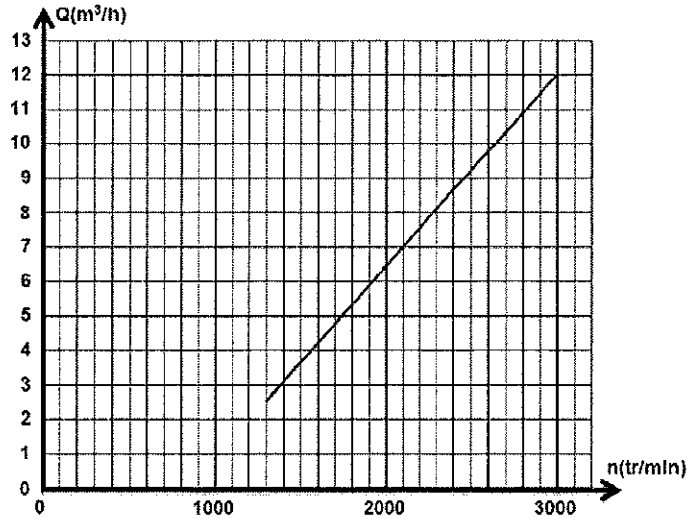
Bornier du moteur asynchrone



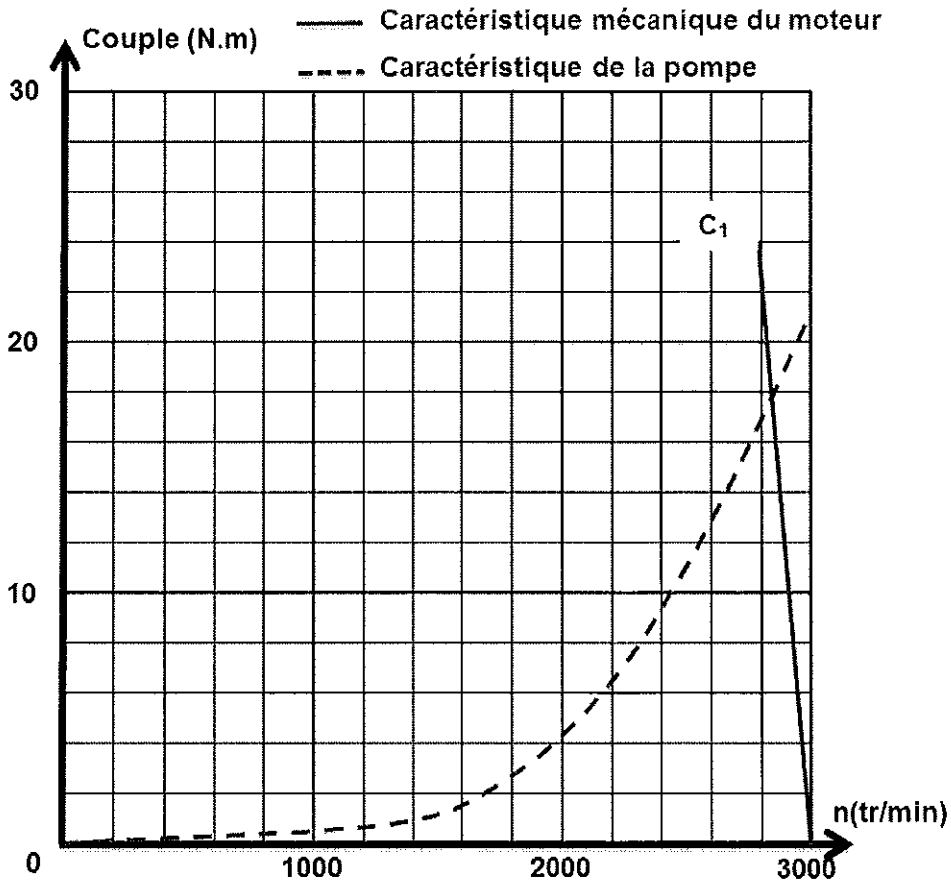
Allimentation triphasée



DOCUMENT RÉPONSE 3



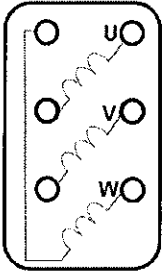
DOCUMENT RÉPONSE 2



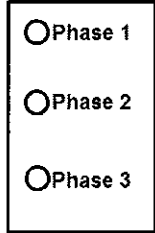
Exemplaire à rendre avec la copie

DOCUMENT RÉPONSE 1

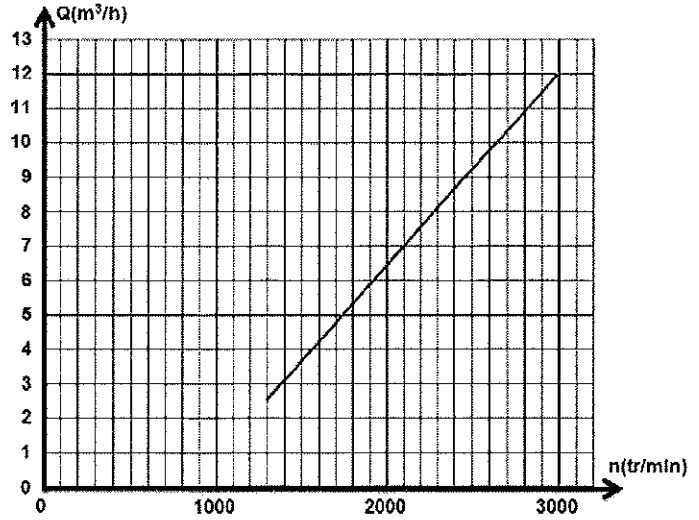
Bornier du moteur asynchrone



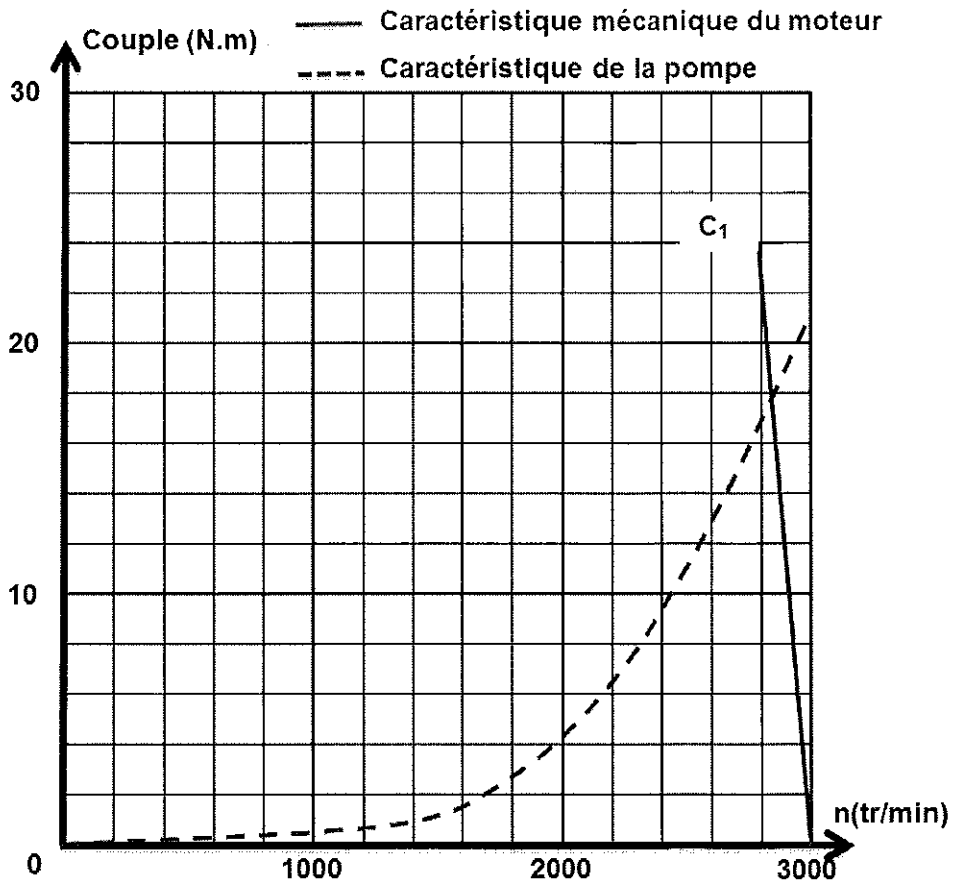
Allimentation triphasée



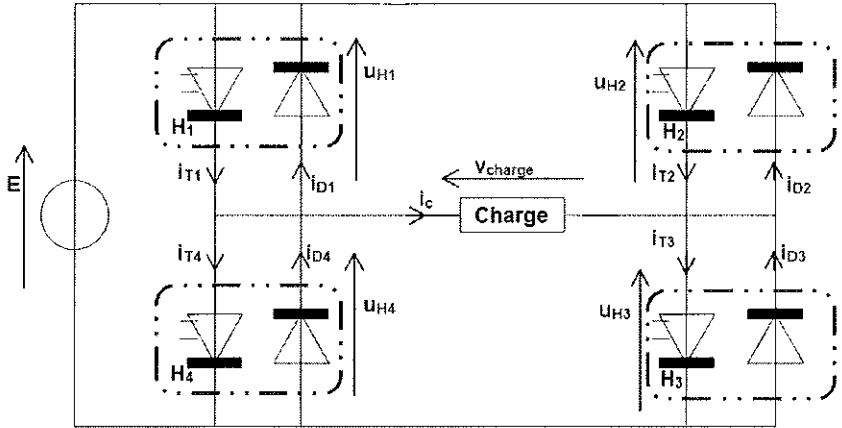
DOCUMENT RÉPONSE 3



DOCUMENT RÉPONSE 2

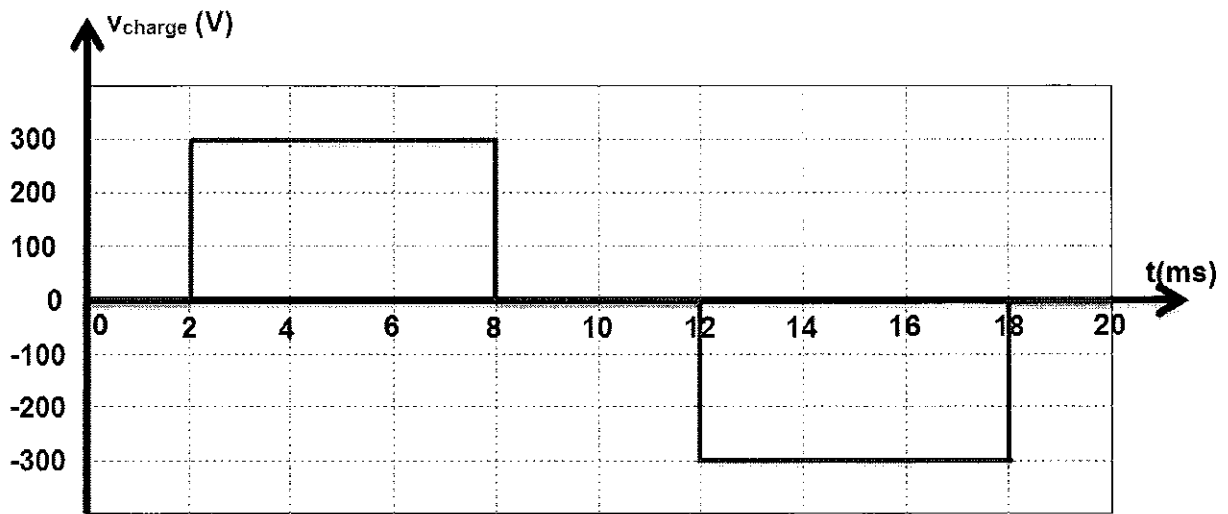


DOCUMENT RÉPONSE 5



Entourer la bonne ou les bonnes réponses ci-dessous.

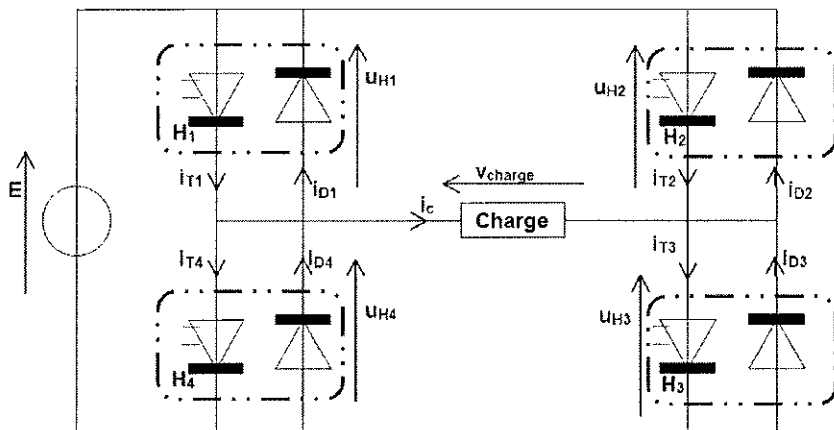
Position du commutateur :
AC / DC / AC + DC



H ₁										
H ₂										
H ₃										
H ₄										

	Élément passant
	Élément non passant

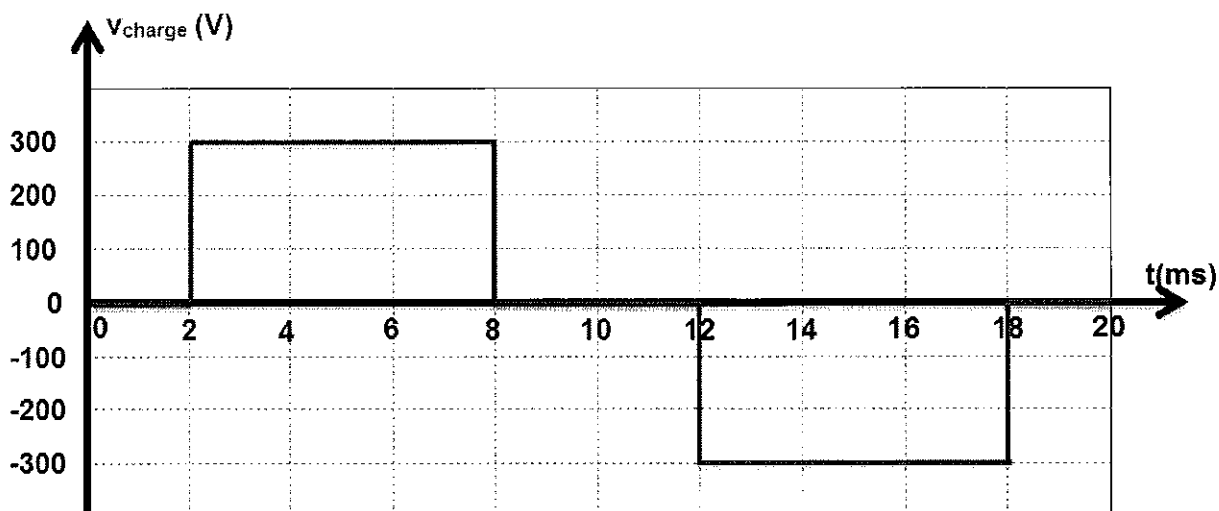
DOCUMENT RÉPONSE 5



Entourer la bonne ou les bonnes réponses ci-dessous.

Position du commutateur :

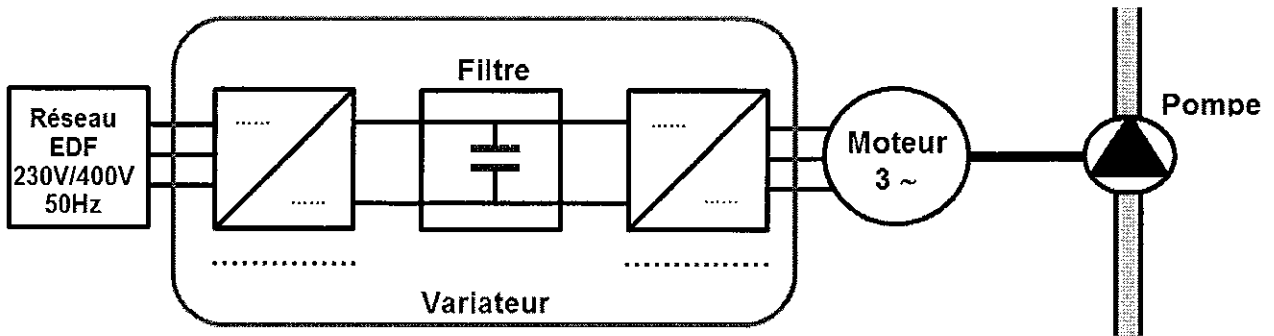
AC / DC / AC + DC



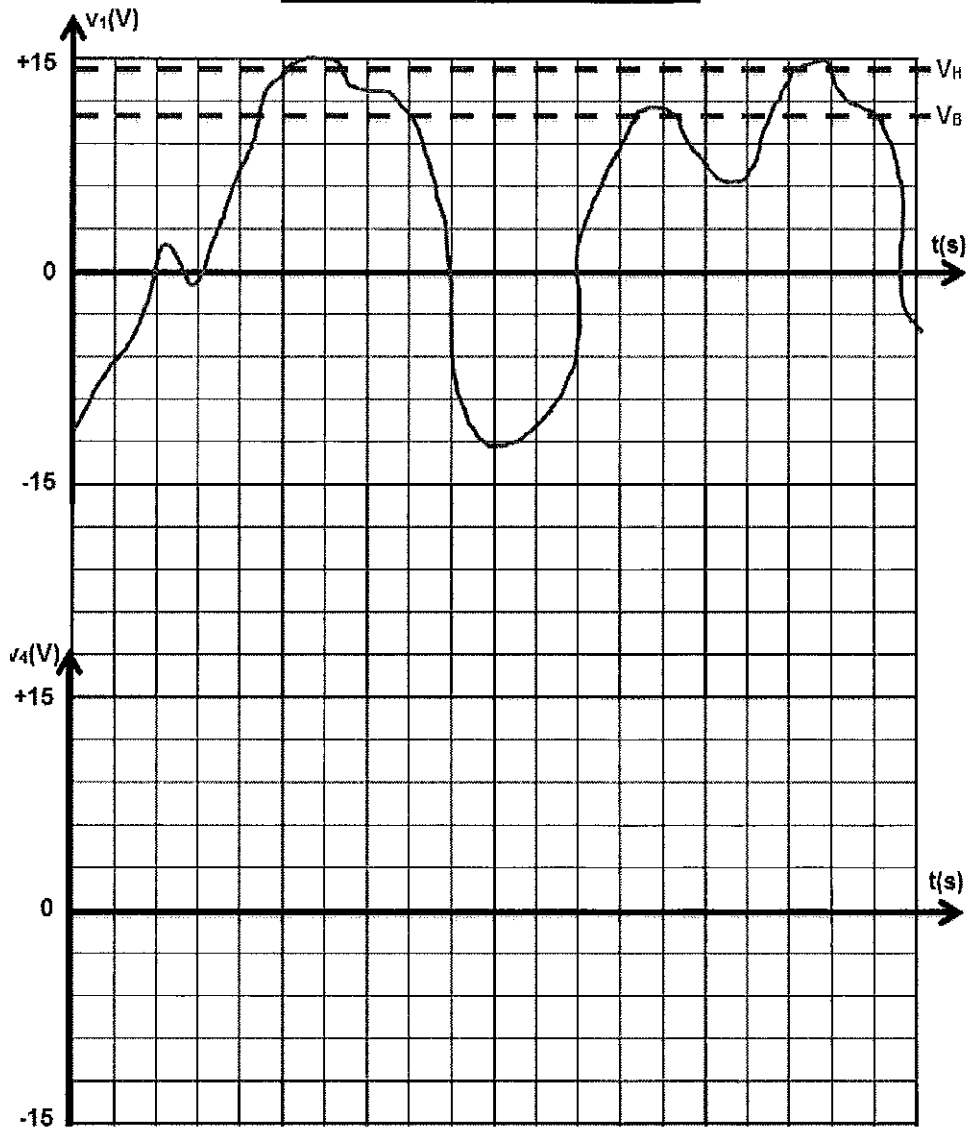
H ₁									
H ₂									
H ₃									
H ₄									

		Élément passant
		Élément non passant

DOCUMENT RÉPONSE 4



DOCUMENT RÉPONSE 6

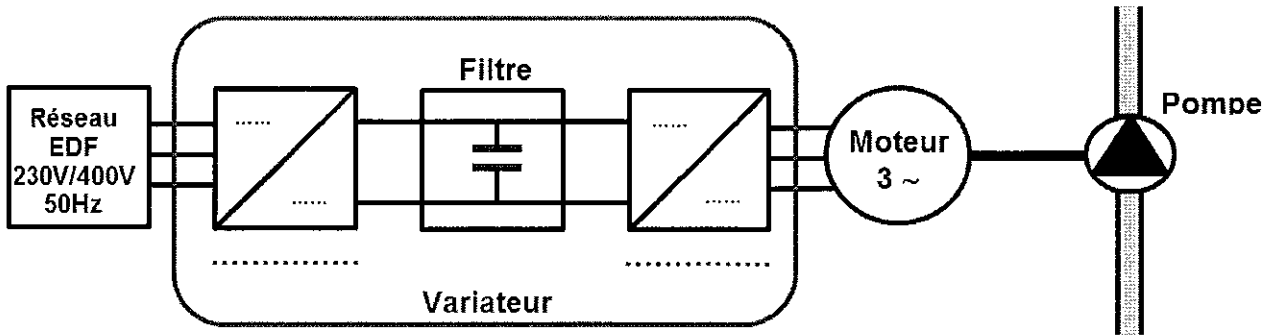


Etat de la pompe (M : marche et A : arrêt)

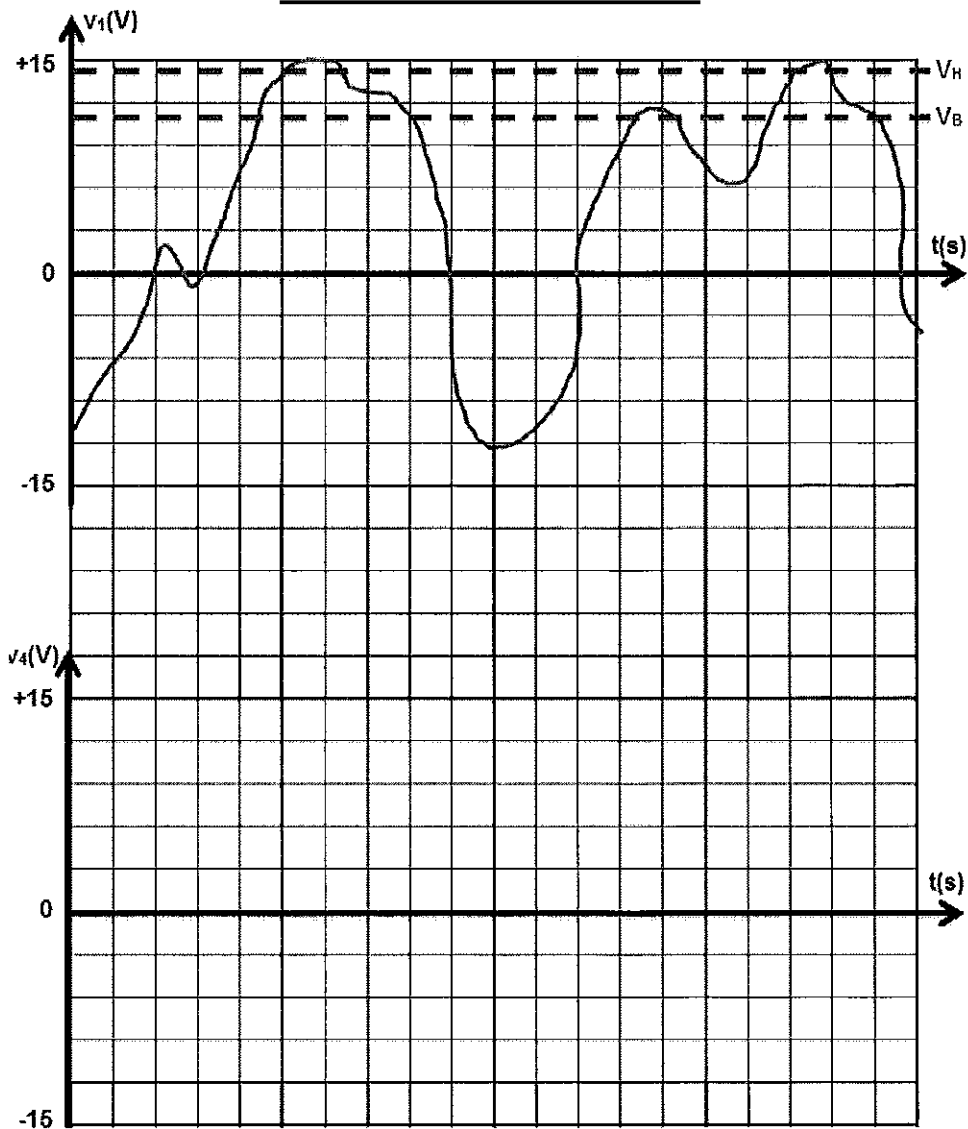
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Exemple à rendre avec la copie

DOCUMENT RÉPONSE 4



DOCUMENT RÉPONSE 6



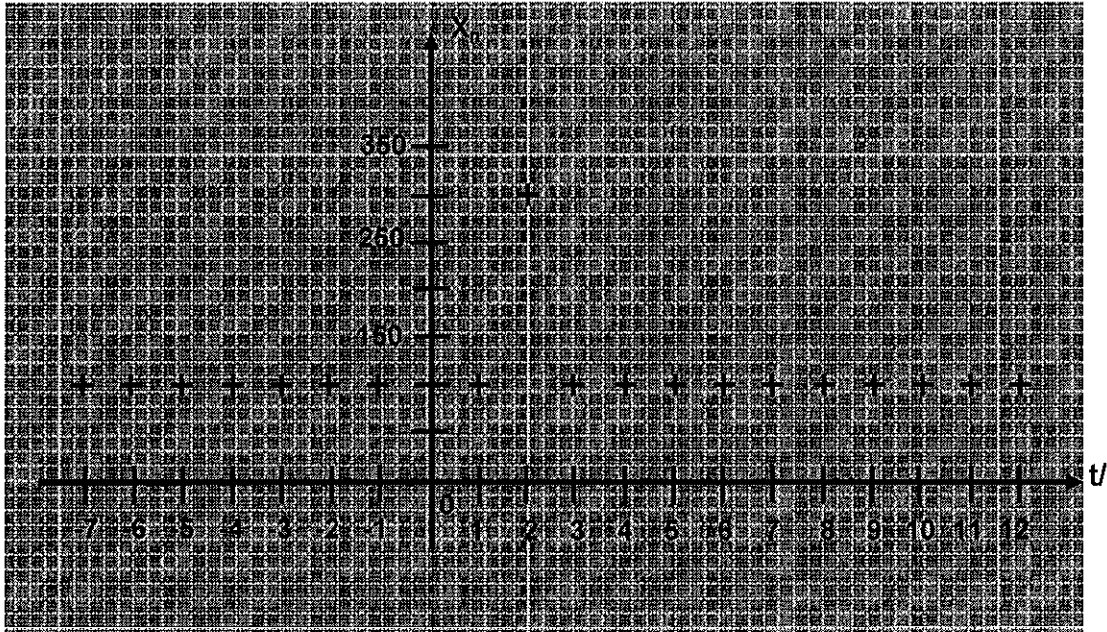
Etat de la pompe (M : marche et A : arrêt)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

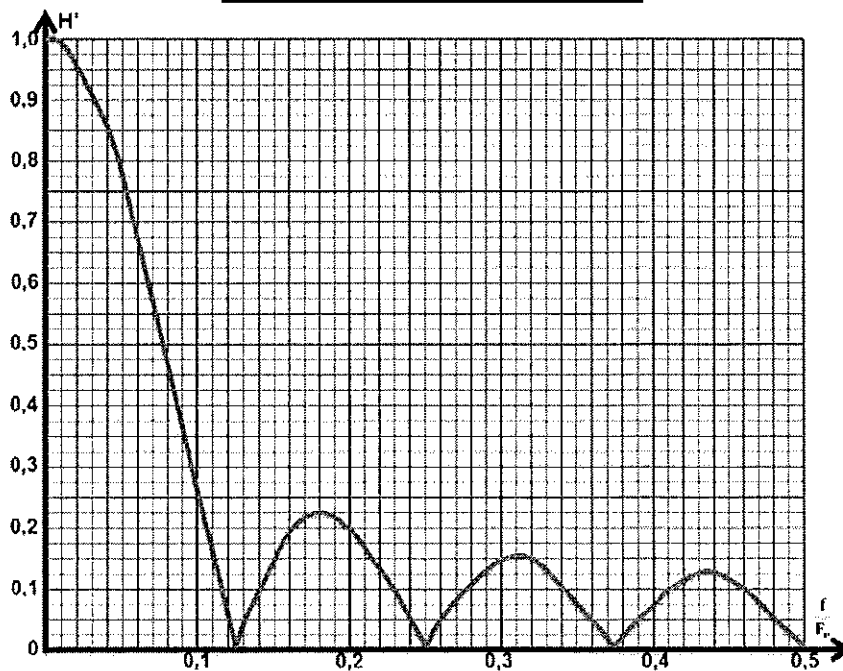
DOCUMENT RÉPONSE 7

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_n	100	100	300	100	100	100	100	100	100	100	100	100
y_n												

Les valeurs de x_n précédentes à l'état initial sont constantes avec $x_n = 100$.



DOCUMENT RÉPONSE 8

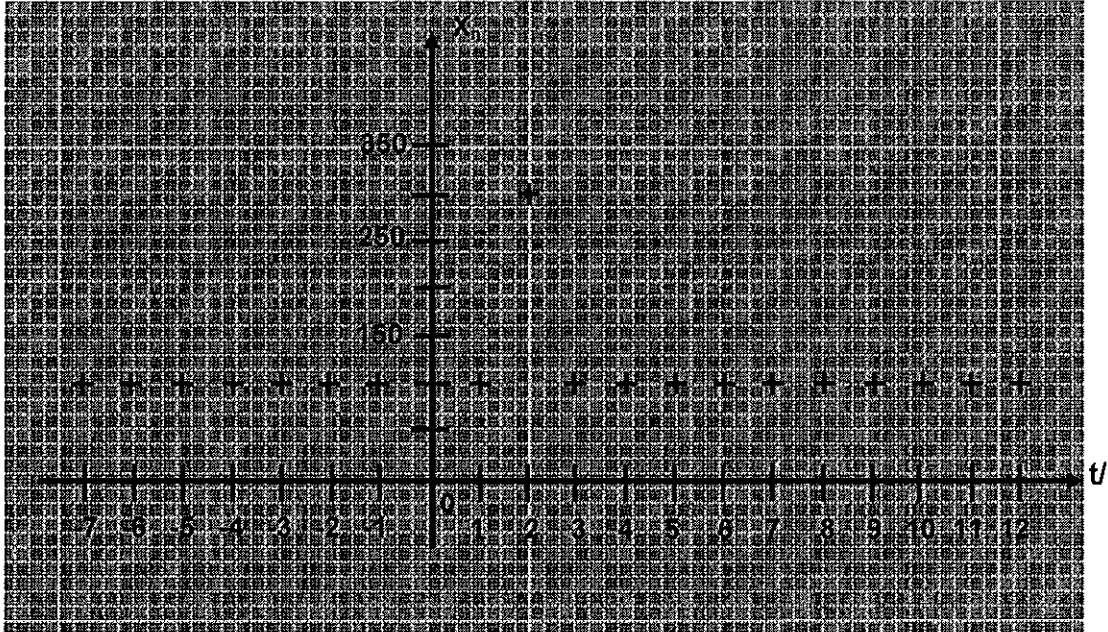


Exemplaire à rendre avec la copie

DOCUMENT RÉPONSE 7

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_n	100	100	300	100	100	100	100	100	100	100	100	100
y_n												

Les valeurs de x_n précédentes à l'état initial sont constantes avec $x_n = 100$.



DOCUMENT RÉPONSE 8

