

**BREVET DE TECHNICIEN
SUPÉRIEUR
MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

La calculatrice (conforme à la circulaire n° 99-186 du 16-11-99) est autorisée.

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

IMPORTANT

Ce sujet comporte 8 pages.

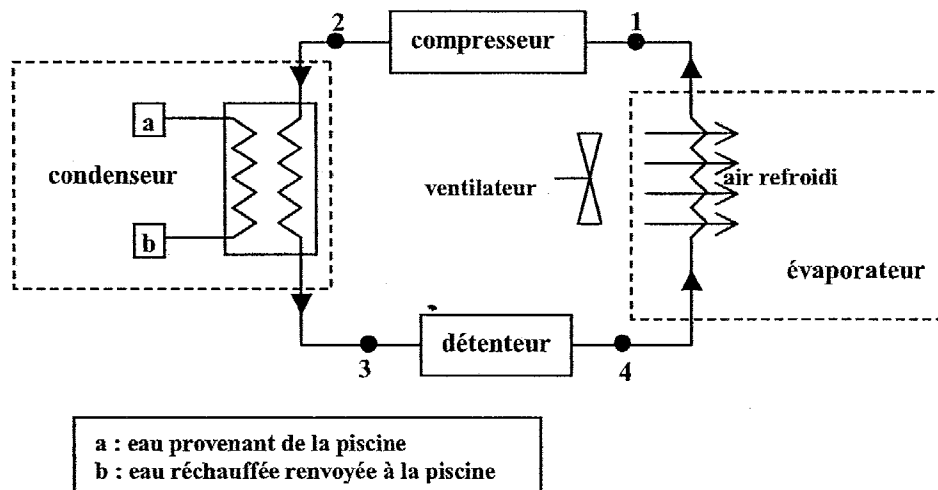
Les documents réponses page 7 et 8 sont à rendre avec la copie

CHAUFFAGE D'UNE PISCINE

Pour en assurer un usage prolongé, une piscine extérieure doit être chauffée au printemps et en automne. Le système de chauffage est réalisé avec une pompe à chaleur (PAC) air/eau. Il permet de maintenir la température de la piscine à une valeur constante $T_{\text{pisc}} = 28^{\circ}\text{C}$.

A. Étude du fonctionnement de la PAC.

Le schéma de la PAC est représenté ci-dessous :



Description du fonctionnement de la PAC :

Le réfrigérant sort de l'évaporateur à la température $T_1 = 278 \text{ K}$.
Il est ensuite comprimé de façon adiabatique et réversible (transformation $1 \rightarrow 2$).
Dans les états 1 et 2, le réfrigérant est entièrement sous forme gazeuse.

Il traverse le condenseur dans lequel il va échanger de la chaleur avec l'eau de la piscine.
Celle-ci va se réchauffer en même temps que le réfrigérant va se refroidir.
Lorsque la température du réfrigérant atteint 328 K , il se liquéfie.

La pression du réfrigérant à l'intérieur du condenseur reste constante de l'entrée à la sortie $P_2 = P_3$.
A l'état 3, le réfrigérant est entièrement liquide et sa température vaut $T_3 = 328 \text{ K}$.

Il se refroidit ensuite jusqu'à la température $T_4 = 278 \text{ K}$ lors de la traversée du détendeur.
Au cours de cette traversée, le réfrigérant est partiellement vaporisé.

A l'état 4, il ne reste que 62% de réfrigérant à l'état liquide.
Le réfrigérant encore liquide (62%) va se vaporiser lors de la traversée de l'évaporateur en échangeant de la chaleur avec l'air soufflé par le ventilateur.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 1 sur 8

Les échanges de chaleur au niveau du condenseur et de l'évaporateur sont supposés sans pertes.

À l'état gazeux, le réfrigérant sera considéré comme un gaz parfait.

Lors des changements d'état (vaporisation et liquéfaction), le réfrigérant sera considéré comme un corps pur.

1. Grandeurs thermodynamiques.

1.1. Le réfrigérant (R410a) utilisé dans la PAC est un mélange composé de 70% de difluorométhane (CF_2H_2) et de 30% de pentafluoroéthane ($\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$) (pourcentages molaires). Calculer la masse molaire de chacun de ces 2 composants puis la masse molaire M_{R410a} du réfrigérant.

1.2. En vous aidant de la courbe donnée page 6 montrant l'évolution de la température de vaporisation du réfrigérant en fonction de la pression, déterminer :

- la pression $P_1 = P_4$ du réfrigérant dans l'évaporateur,
- la pression $P_2 = P_3$ du réfrigérant dans le condenseur.

1.3. Calculer le volume V_1 d'une mole de réfrigérant à l'entrée du compresseur.

1.4. Calculer le volume V_2 d'une mole de réfrigérant à la sortie du compresseur.

1.5. Exprimer T_2 , la température du réfrigérant en sortie du compresseur. Vérifier que $T_2 = 354 \text{ K}$.

Données :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Valeur du rapport C_p/C_v pour le R410a à l'état gazeux : $\gamma = 1,23$.
- Masses molaires atomiques : $M_{\text{C}} = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M_{\text{H}} = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $M_{\text{F}} = 19 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2. Échanges de chaleur avec changements d'état.

2.1. Étude du condenseur.

Dans le condenseur, le réfrigérant subit une liquéfaction totale suivie d'un refroidissement jusqu'à la température $T_3 = 328 \text{ K}$.

Au cours du refroidissement, une mole de réfrigérant perd la quantité de chaleur $|Q_{\text{R}}| = 2,7 \text{ kJ}$.

2.1.1. Sachant que la masse d'une mole de R410a vaut $M_{\text{R410a}} = 72,4 \text{ g}$, calculer la quantité de chaleur Q_{L} reçue par une mole de réfrigérant lors de sa liquéfaction dans le condenseur.

2.1.2. En déduire qu'une mole de réfrigérant reçoit $Q_{\text{C}} = -11,6 \text{ kJ}$ lors de la traversée du condenseur.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 2 sur 8

2.2. Étude de l'évaporateur.

2.2.1. Calculer la quantité de chaleur Q_{eT} reçue par une mole de réfrigérant si elle s'évaporerait en totalité lors de la traversée de l'évaporateur.

2.2.2. Dans la réalité, il ne reste que 62% de réfrigérant à l'état liquide. Vérifier que la quantité de chaleur Q_e reçue lors de cette évaporation partielle est 9,8 kJ.

Données :

- Chaleurs latentes de vaporisation du R410a :
 $L_5 = 218 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à 278 K et $L_{55} = 123 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à 328 K.

3. Énergie fournie par le compresseur.

3.1. Rappeler le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.

3.2. Calculer le travail W_{MC} fourni par le compresseur. Commenter son signe.

B. Étude de la pompe de circulation de l'eau de la piscine.

L'eau est pompée dans la piscine à une profondeur $p = 1,2 \text{ m}$.

Cette eau sort de la pompe à la hauteur $h = 1,5 \text{ m}$ au-dessus du niveau de l'eau de la piscine.

Le débit de l'eau D_{eau} est égal à 2 L.s^{-1} .

1. Montrer que la pression $P_{1\text{eau}}$ de l'eau à la profondeur à laquelle elle est pompée vaut $1,13 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

2. L'eau est refoulée par la pompe dans la canalisation retournant à la piscine sans changement de vitesse avec une pression $P_{2\text{eau}} = 1,30 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

2.1. En utilisant le théorème de Bernoulli, calculer le travail W_{pompe} effectué par la pompe pour faire circuler 1 L d'eau en supposant que les pertes de charge sont négligeables.

2.2. En déduire que la puissance mécanique $P_{M\text{pompe}}$ que la pompe doit fournir pour faire circuler l'eau est égale à 87 W.

Données :

- Pression atmosphérique : $P_{\text{at}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- Équation de Bernoulli avec pertes de charge J et échange de travail W pour une masse unitaire de 1 kg :

$$W = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + g(z_2 - z_1) + J$$

- L'eau est considérée comme un fluide parfait de masse volumique : $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 3 sur 8

C. Étude du moteur du compresseur.

Le moteur asynchrone triphasé entraînant le compresseur est alimenté par un réseau triphasé 230V/400V, 50Hz.

La plaque signalétique est représentée ci-dessous :

2,4 kW	$\cos\varphi = 0,9$	Δ 230 V
1440 tr/min	50 Hz	Y 400V

En fonctionnement nominal, la puissance électrique absorbée P_a est égale à 2,7 kW.

La résistance mesurée entre 2 bornes du stator R est égale à 3 Ω .

Les pertes fer au stator P_{fs} valent 65 W.

Les pertes fer au rotor P_{fr} sont négligées.

1. Exploitation de la plaque signalétique.

1.1. Préciser en le justifiant le couplage des enroulements du stator. Représenter le branchement du moteur sur la figure 1 du document réponse page 7.

1.2. Déterminer la fréquence de synchronisme n_s . En déduire le glissement g en régime nominal.

2. Bilan des puissances.

2.1. Compléter le schéma représenté sur la figure 2 du document-réponse page 7 en précisant la nature des différentes puissances.

2.2. Exprimer la valeur efficace du courant de ligne I_N en fonction des données. Vérifier que $I_N = 4,3A$.

2.3. En déduire la valeur des pertes par effet Joule P_{Js} au stator.

2.4. Les pertes par effet Joule au rotor P_{Jr} sont données par la relation : $P_{Jr} = g \cdot P_{tr}$, où P_{tr} est la puissance transmise au rotor. Exprimer P_{tr} en fonction de P_a , P_{fs} et P_{Js} . Vérifier que $P_{Jr} = 102 W$.

2.5. Calculer les pertes mécaniques $P_{méca}$ du moteur.

3. Mesure.

On désire mesurer la puissance P_a absorbée par le moteur par la méthode des 2 wattmètres.

3.1. Compléter le schéma représenté figure 3 du document réponse page 8 en plaçant les deux wattmètres.

3.2. Exprimer P_a en fonction des indications L_1 et L_2 des deux appareils.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 4 sur 8

D. Réglage du fonctionnement de la PAC.

Lorsque la température de l'air extérieur est supérieure à 15°C (valeur envisagée dans la première partie de l'étude), la PAC doit fournir moins de chaleur pour maintenir l'eau de la piscine à la température $T_{\text{pisc}} = 28^\circ\text{C}$.

Ceci est réalisé en diminuant la fréquence de rotation du moteur entraînant le compresseur de façon à diminuer le débit de réfrigérant.

Le moteur est alimenté à l'aide d'un onduleur triphasé fonctionnant de telle sorte que le rapport V/f reste constant. V est la valeur efficace de la tension simple et f est la fréquence des courants.

Les caractéristiques mécaniques $T_u = f(n)$ pour une fréquence de l'onduleur sont assimilées à des droites dans leur partie utile.

1. Caractéristique mécanique pour une fréquence de 50Hz.

1.1. Calculer le moment du couple utile T_{uN} pour le fonctionnement nominal. En déduire les coordonnées du point A (n_A ; T_{uA}) de la caractéristique mécanique.

1.2. Quel est le moment du couple utile T_{uV} du moteur à vide ? En déduire les coordonnées du point B (n_B ; T_{uB}) de la caractéristique mécanique.

1.3. Tracer sur la figure 4 du document-réponse page 8 la caractéristique du moteur pour la fréquence 50Hz.

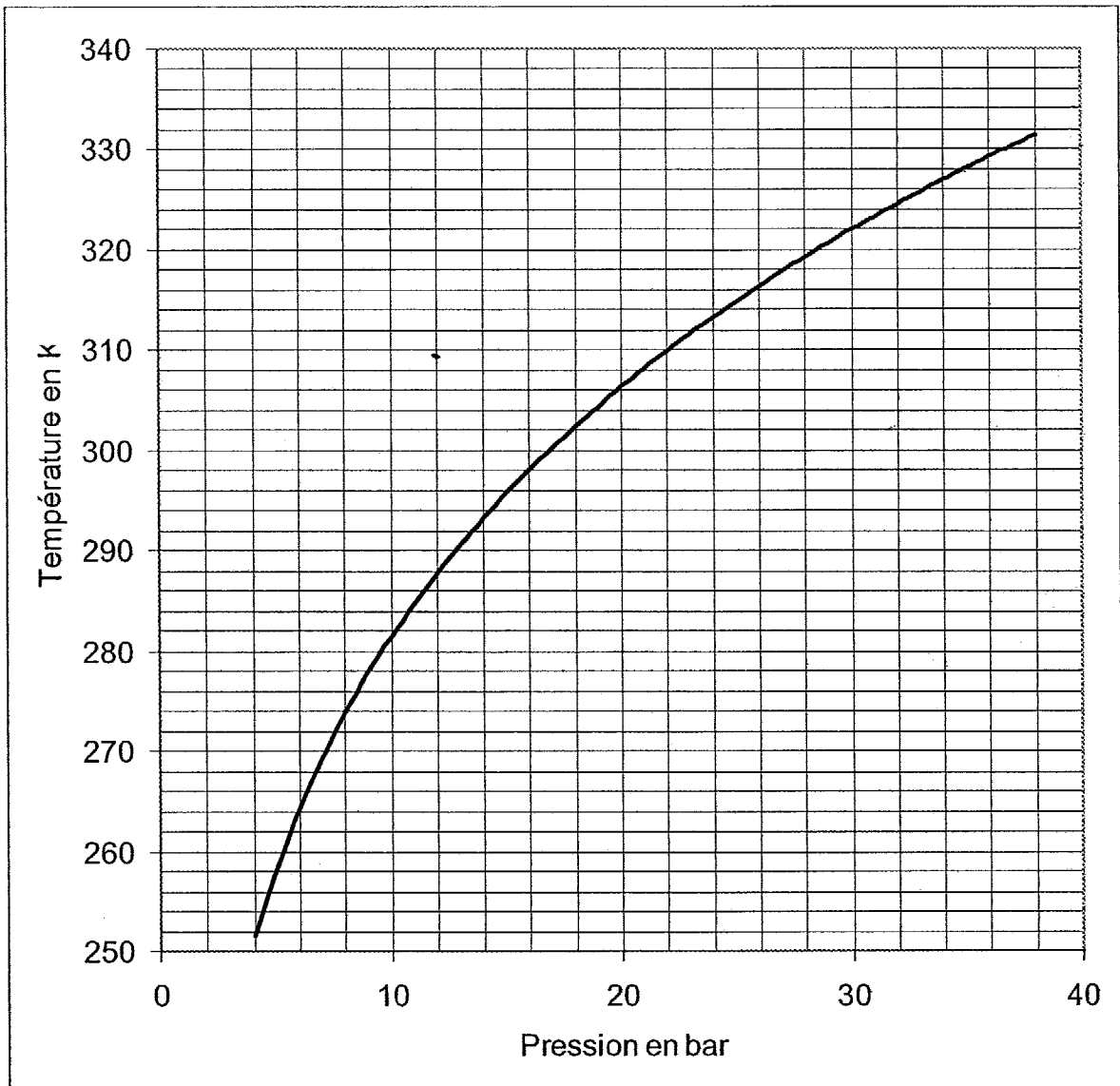
2. Réglage de la vitesse du moteur.

2.1. Tracer sur la figure 4 du document-réponse page 8 la caractéristique du moteur lorsque la fréquence de l'onduleur est égale à 30Hz.

2.2. Pour cette valeur de la fréquence, le moment du couple utile T_{u30} est égale à 10 N.m. Déterminer graphiquement la fréquence de rotation n_{30} du moteur asynchrone.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 5 sur 8

Annexe



Température de vaporisation du R410a en fonction de la pression

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 6 sur 8

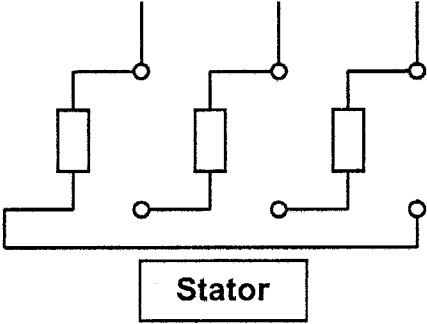
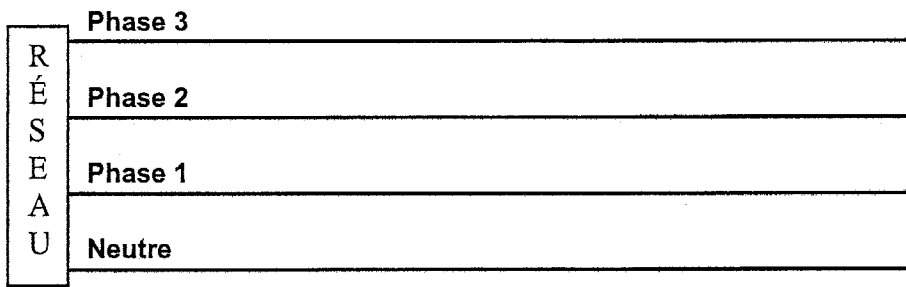


figure 1

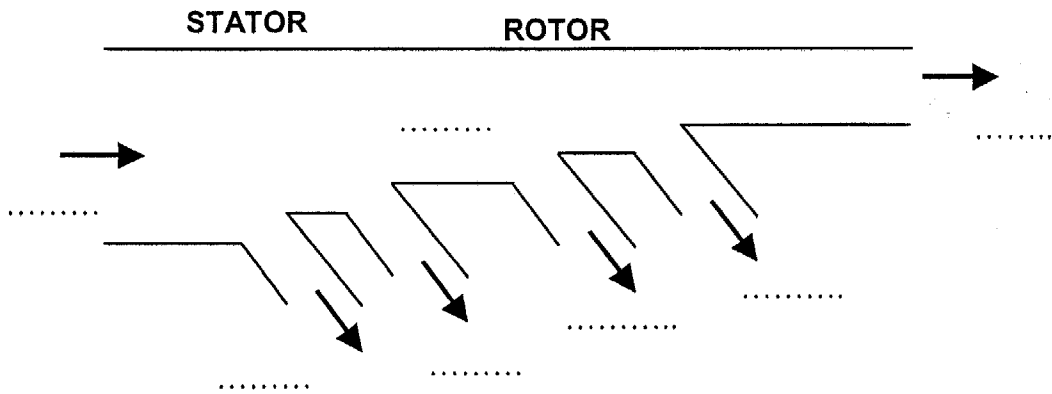


figure 2

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 7 sur 8

Document réponse 2
à rendre avec la copie

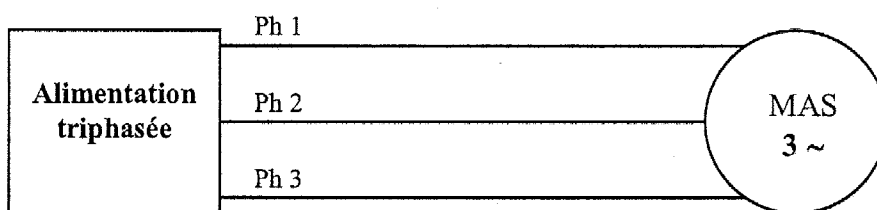


figure 3

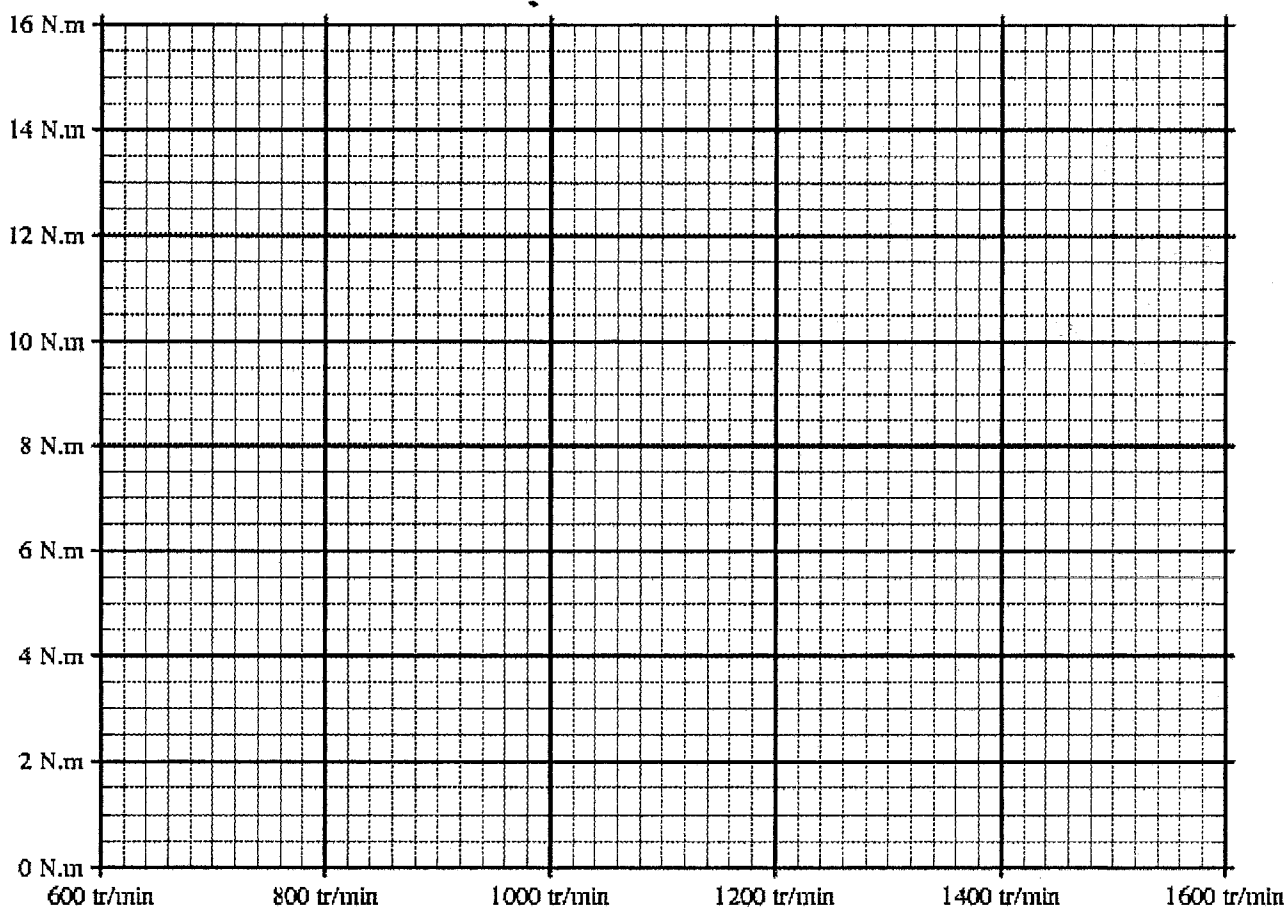


figure 4

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE	SUJET	Session 2008
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : 08NCMIE3SC		Page 8 sur 8