

SESSION 2012

**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 9 pages.

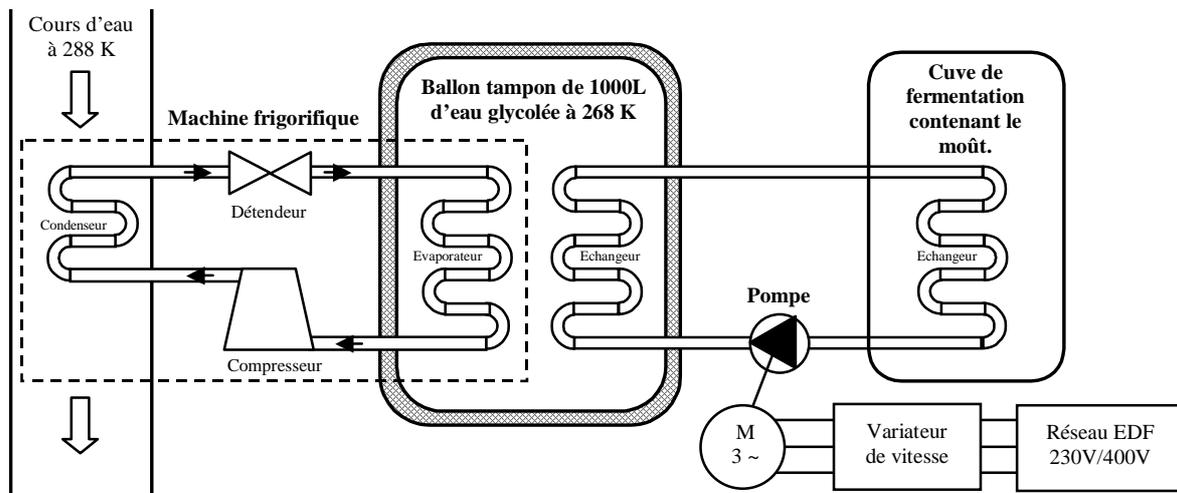
Les documents réponses, pages 8 et 9 sont à remettre avec la copie.

Régulation de température des cuves de fermentation de la Brasserie L & L Alphan à Vallouise

L'élaboration de la bière nécessite l'utilisation d'un jus sucré appelé moût, résultant du mélange et de la cuisson de grains de malt écrasés dans de l'eau. La fermentation du sucre contenu dans le moût va permettre la production d'alcool, mais cette réaction est exothermique. Or, selon le procédé de fermentation choisi, il est nécessaire durant cette phase de maintenir le moût à une température plus au moins basse.

L'étude porte sur le procédé permettant le contrôle de la température du moût dans une cuve de fermentation.

Le schéma général de l'installation et le principe sont donnés ci-dessous.



- La cuve de fermentation est refroidie par la circulation d'eau glycolée à travers un échangeur.
- Cette eau glycolée à 268 K provient d'un ballon tampon ayant une capacité de 1000 L.
- Pour refroidir la cuve, on agit sur le débit généré par la pompe.
- La pompe est entraînée par un moteur asynchrone triphasé, alimenté par un variateur de vitesse.
- La température de l'eau dans le ballon est régulée à une température de 268 K grâce à une machine frigorifique, qui prend de la chaleur à l'eau du ballon, pour la céder à un cours d'eau.

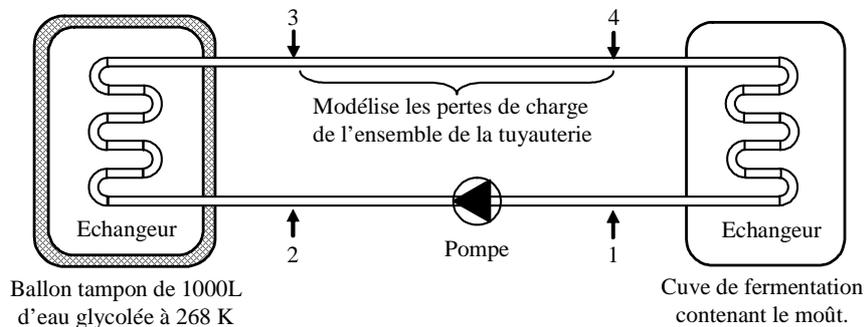
Le sujet se décompose en quatre parties A, B, C, D indépendantes.

Dans chacune des parties A, B, C, D, les sous-parties et la plupart des questions peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 1/9

A. Refroidissement de la cuve

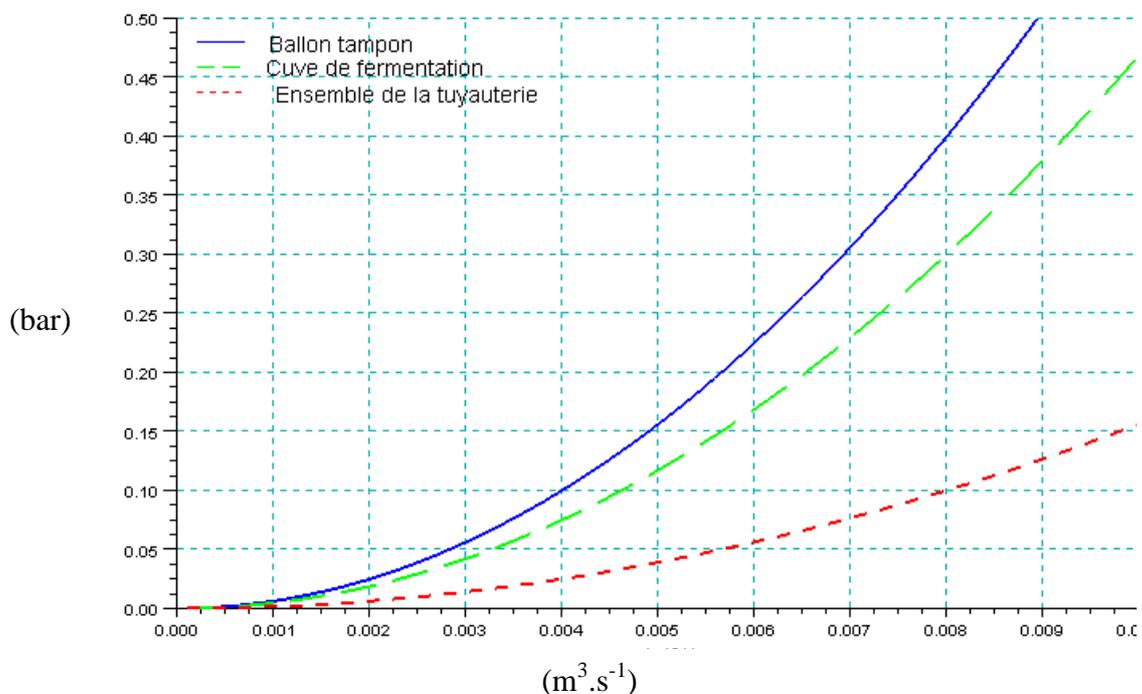
La schématisation simplifiée du circuit de refroidissement de la cuve de fermentation est représentée sur le document ci-contre :



Hypothèses et données:

- Le circuit étant fermé, dans tout l'exercice, on négligera les différences d'altitude entre les différents éléments du circuit de refroidissement.
- On considèrera que le diamètre de la canalisation où le fluide circule est constant : $D = 30 \text{ mm}$.
- L'eau glycolée sera considérée comme incompressible et de masse volumique $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.
- Le document ci-dessous indique la valeur des pertes de charge dans les différents éléments (cuve, ballon et tuyauterie) du circuit en fonction du débit volumique.
- Les pertes de charge sont considérées négligeables dans la pompe.

Pertes de charge en bars en fonction du débit volumique en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$



Δp : pertes de charge entre deux points A et B.

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 2/9

Pour un débit volumique constant $q_v = 8,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$:

1. Montrer que la vitesse v du fluide dans le circuit vaut $11,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
2. En utilisant le document relatif aux différentes pertes de charge, déterminer graphiquement les pertes de charge, en précisant l'unité :
 - 2.1. dans le ballon tampon, notée : ΔP_{ballon}
 - 2.2. dans la cuve de fermentation, notée : ΔP_{cuve}
 - 2.3. dans l'ensemble de la tuyauterie, notée : $\Delta P_{\text{tuyauterie}}$
3. Le schéma du dispositif, à compléter, est représenté sur le document réponse 1 page 8. La pression en sortie de pompe est $P_2 = 2,40 \text{ bar}$.
 - 3.1. Exprimer P_3 en fonction de P_2 et ΔP_{ballon} et faire l'application numérique.
 - 3.2. En appliquant la même démarche, exprimer puis calculer les pressions P_4 et P_1 . Vérifier que la pression P_1 est égale à $1,6 \text{ bar}$.
 - 3.3. Compléter le document réponse 1 de la page 8.
4. En appliquant le théorème de Bernoulli entre les points 1 et 2 de part et d'autre de la pompe, calculer la puissance mécanique P_{machine} transmise par la pompe au fluide.

On donne l'équation généralisée de Bernoulli :

$$\frac{1}{2} \rho (v_B^2 - v_A^2) + \rho g (z_B - z_A) + (p_B - p_A) = \frac{P_{\text{mach}}}{q_v} - \Delta p$$

P_{mach} : Puissance mécanique échangée entre le fluide et une machine entre les points A et B.

On rappelle que les pertes de charge dans la pompe sont négligées.

B. Motorisation entraînant la pompe

La plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé entraînant la pompe est donnée ci-dessous.

0,75 kW	cosϕ = 0,71	Δ 230 V
1440 tr.min⁻¹	50 Hz	Y 400V

Ce moteur est alimenté par un réseau délivrant une tension entre phases de valeur efficace

$U = 230 \text{ V}$ à la fréquence de 50 Hz .

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 3/9

1. Caractéristiques du moteur

1.1. Déterminer la nature du couplage à réaliser, en justifiant le choix, puis le représenter sur le document réponse 2 de la page 8.

1.2. La valeur efficace I de l'intensité du courant en ligne est de 3,46 A.
Montrer que la puissance active absorbée P_{ABS} en régime nominal est de l'ordre de 980 W.

1.3. En déduire le rendement nominal du moteur.

2. Point de fonctionnement

Le moteur entraîne une pompe dont la caractéristique mécanique est donnée sur le document réponse 3 de la page 9.

2.1. Déterminer, puis placer sur le document réponse 3 de la page 9, le point A correspondant au fonctionnement nominal du moteur.

2.2. Placer sur le même document réponse 3 de la page 9, le point B correspondant au fonctionnement à vide du moteur.

2.3. La caractéristique mécanique du moteur est considérée comme linéaire dans sa partie utile.
Tracer la caractéristique mécanique du moteur dans sa partie utile.

2.4. Déterminer alors la fréquence de rotation n_{POMPE} du groupe moteur pompe ainsi que le moment du couple T_{POMPE} développé.

C. Variation de vitesse

Le variateur de vitesse utilisé pour piloter le moteur est composé de différents éléments.
Son architecture principale s'articule autour d'un onduleur autonome de tension.

On peut alors symboliser une phase de l'onduleur triphasé par le schéma représenté sur le document réponse 4 de la page 9.

L'état des interrupteurs H_1 et H_2 est indiqué sur le document réponse 5 de la page 9.
Les éléments de l'onduleur, interrupteurs et diodes, sont supposés parfaits.

1. Commande du moteur

1.1. Indiquer, sur le document réponse 4 de la page 8, le branchement de l'appareil permettant de visualiser la tension u .

1.2. Indiquer la nature et le branchement de l'appareil permettant de mesurer la valeur efficace U de la tension u sur le document réponse 4 de la page 8. Préciser la position du commutateur.

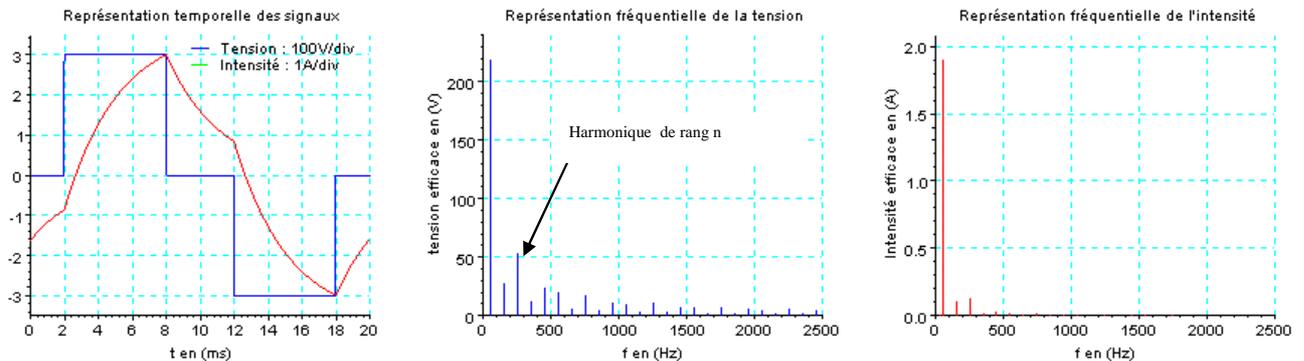
BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 4/9

1.3. On donne, sur le document réponse 5 de la page 9, la forme de la tension u observée à la sortie de l'onduleur. Indiquer, sur ce même document, les intervalles de temps où les interrupteurs H_3 et H_4 doivent être passants pour obtenir la forme de la tension u représentée.

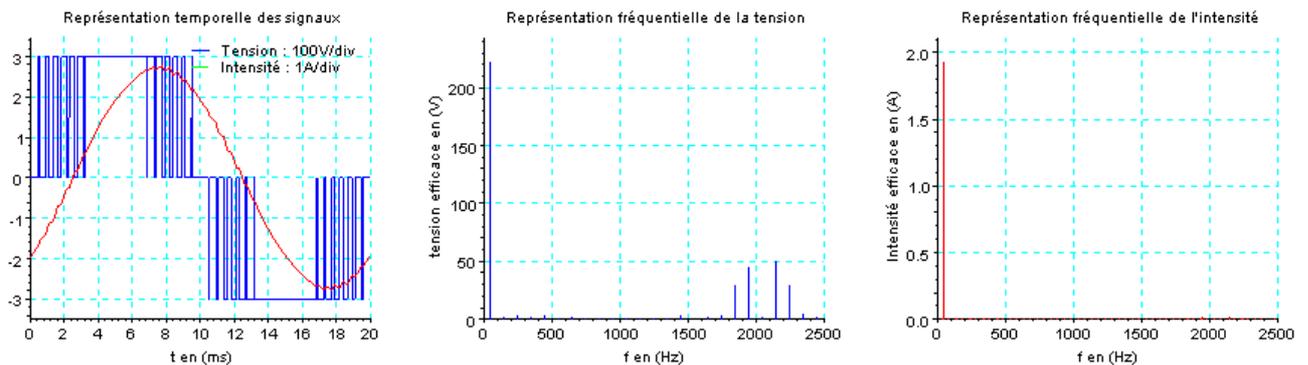
2. Comportement fréquentiel

Le document ci-dessous correspond aux représentations temporelles et fréquentielles de la tension et de l'intensité délivrées par les onduleurs actuels, pour deux types de commande industrielle.

• Formes d'onde à la sortie d'un onduleur à commande décalée



• Formes d'onde à la sortie d'un onduleur à commande « MLI » : modulation de la largeur d'impulsion



2.1. Pour la commande décalée, lire sur la représentation fréquentielle la fréquence f_n de l'harmonique de rang n de la tension à la sortie de l'onduleur.

2.2. Déterminer le rang n de cet harmonique.

2.3. Expliquer, en utilisant le document précédent, l'intérêt d'une commande « MLI » par rapport à une commande décalée.

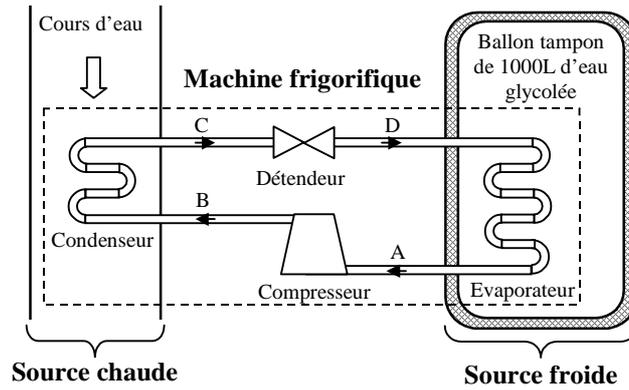
« MLI » : Modulation de la largeur d'impulsion

D. Production de froid

Dans cette partie, on s'intéresse au fonctionnement thermodynamique de la machine frigorifique qui va permettre de réfrigérer l'eau du ballon tampon.

La machine frigorifique fonctionne entre deux sources de chaleur. Son but est de faire travailler le fluide pour qu'il prélève de la chaleur à la source froide et qu'il en cède à la source chaude.

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 5/9



Cette machine utilise un fluide qui décrit le cycle thermodynamique A – B – C – D – A suivant :

A – B : Le fluide à l'état gazeux subit une compression adiabatique, de la pression P_A jusqu'à la pression P_B .

B – C : Transformation isobare et isotherme avec changement d'état (Gaz ==> Liquide).

C – D : Détente adiabatique qui abaisse la température du fluide.

D – A : Transformation isobare et isotherme avec changement d'état (Liquide ==> Gaz)

Données :

- On travaille sur une mole de fluide : $n = 1$ mol.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Pour le fluide frigorigène étudié $\gamma = 1,12$
- Certaines valeurs, relatives à l'état du fluide et à la chaleur qu'il échange, sont données dans le tableau ci-dessous.

Etat :	A	=>	B	=>	C	=>	D	=>	A
P (Pa)	$2,00 \times 10^5$		.....		$6,2 \times 10^5$		$2,00 \times 10^5$		$2,00 \times 10^5$
T (K)	263		.....		297		263		263
V (m³)	.....		$4,00 \times 10^{-3}$		/		/		/
Q (kJ)	/		$Q_{AB} = 0$		$Q_{BC} = -19,0$		$Q_{CD} = 0$		$Q_{DA} = 16,5$

Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état **A** (P_A, V_A, T_A) à un état **B** (P_B, V_B, T_B), on peut écrire :

$$P_A \cdot V_A^\gamma = P_B \cdot V_B^\gamma \quad \text{et} \quad T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B \cdot V_B^{\gamma-1}$$

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 6/9

1. Etude de la phase gazeuse dans le compresseur : A – B

Dans le compresseur, le fluide est assimilé à un gaz parfait.

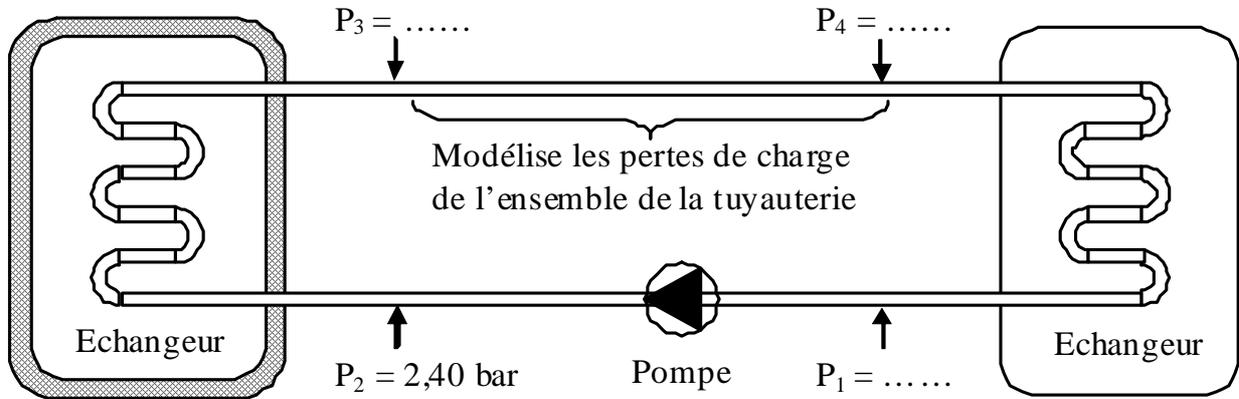
- 1.1. Calculer le volume V_A occupé par une mole de fluide au point A du circuit.
- 1.2. Montrer que la pression P_B du fluide à la sortie du compresseur vaut 6,2 bar.
- 1.3. En déduire la valeur de la température du fluide T_B au point B du cycle.
- 1.4. Expliquer pourquoi la chaleur échangée par le fluide avec l'extérieur est nulle au cours de la transformation A – B.

2. Efficacité thermodynamique de la machine

- 2.1. Enoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.
On notera Q_{cycle} et W_{cycle} , la chaleur et le travail échangés par le fluide au cours du cycle.
- 2.2. Calculer le travail total W_{cycle} échangé par le fluide au cours du cycle.
- 2.3. On définit l'efficacité e_f d'une machine frigorifique, par le rapport entre la chaleur absorbée à la source froide et le travail fourni au fluide au cours d'un cycle pour y parvenir. Exprimer puis calculer l'efficacité frigorifique de la machine étudiée.

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 7/9

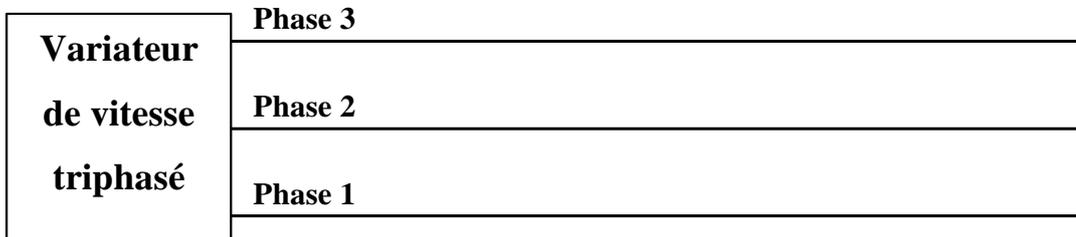
Document réponse 1
à compléter



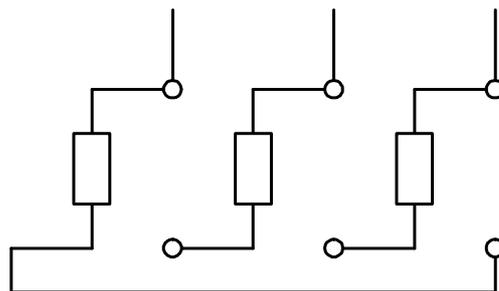
Ballon tampon de 1000L
d'eau glycolée à 268 K

Cuve de fermentation
contenant le moût.

Document réponse 2
à compléter



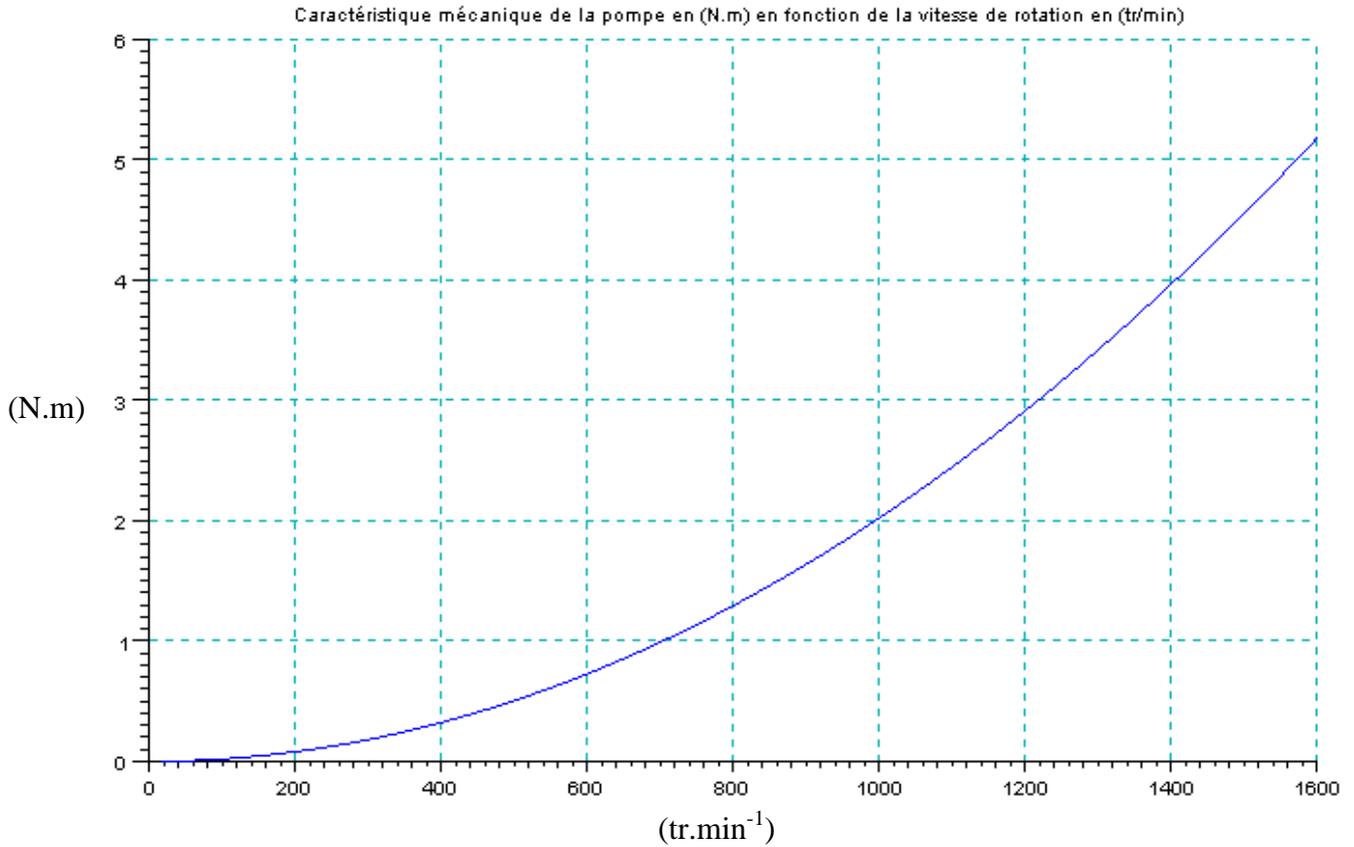
Couplage :
.....



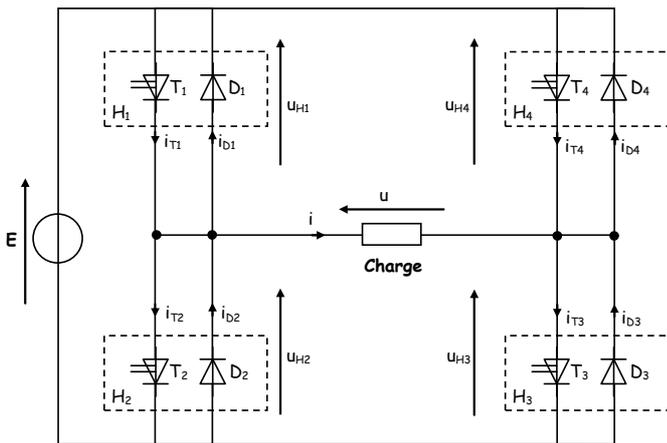
Stator

BTS Maintenance Industrielle	SUJET	Session 2012
Epreuve U32 Sciences Physiques	Durée : 2 heures	Coefficient : 2
CODE : MIE3SC12		Page 8/9

Document réponse 3
à compléter



Document réponse 4
à compléter



Document réponse 5
à compléter

