



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

Brevet de technicien supérieur

Maintenance Industrielle

Épreuve E32

Sciences physiques

Session 2015

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

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

Important

Ce sujet comporte, en plus de cette page de garde, 8 pages numérotées de 1 à 8.
Les documents-réponses, pages 7 et 8, sont àagrafer avec la copie.

Chauffage urbain

On s'intéresse aux différents éléments d'un réseau de chauffage urbain à eau basse température et basse pression, entré en service en 2010 à Saint-Etienne.

Destiné à alimenter en chauffage et en eau chaude sanitaire un quartier en pleine expansion, ce réseau dispose d'une puissance de chauffe disponible de 13 MW.

Ses chaudières à bois et à gaz produisent annuellement 27,5 GW·h de chaleur.

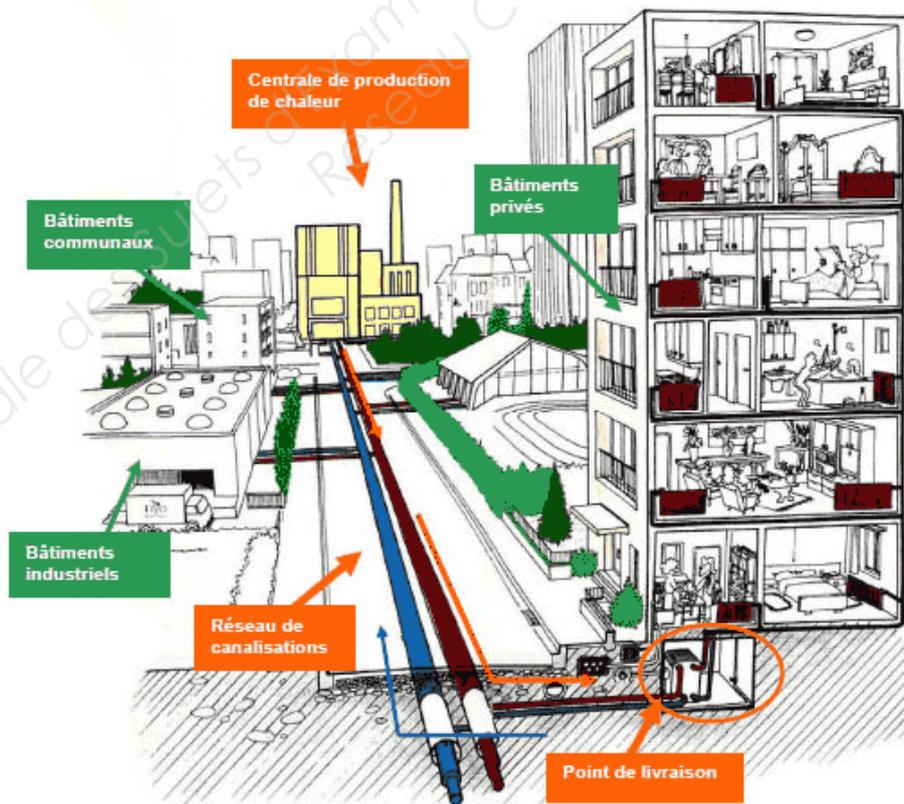
A terme, le réseau sera amené à chauffer jusqu'à 400 000 m² de plancher (bureaux et immeubles d'habitation), avec un pic de production prévisionnel de 300 000 kW·h par jour en plein hiver.

Outre leur intérêt écologique, de tels réseaux de chauffage urbain présentent un intérêt financier pour les clients, car ce système permet de mutualiser les sources de production de chaleur et donc d'en réduire les coûts par rapport à des systèmes de chauffage individuel. En revanche, ils sont largement subventionnés par l'état, et nécessitent des investissements très importants (13 millions d'euros à la construction pour le réseau de chaleur présenté), supportés par les collectivités territoriales.

Un système de pompes fait circuler de l'eau chaude en circuit fermé dans la ville. En tête de réseau, une chaufferie utilisant comme combustible du bois et/ou du gaz naturel permet le chauffage de l'eau. Cette eau est ensuite acheminée par un système de conduites jusqu'aux bâtiments à chauffer.

Des échangeurs thermiques assurent le transfert de chaleur vers les circuits de chauffage central et d'eau chaude sanitaire de chaque bâtiment.

En bout de cycle, l'eau refroidie retourne à la chaudière où elle est à nouveau réchauffée.



BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 1 sur 8

A. Intérêt écologique et limitation de la chaudière à bois

I. Intérêt écologique de l'utilisation du bois

La tonne d'équivalent pétrole (symbole *TEP*) est une unité d'énergie. Elle est notamment utilisée dans l'industrie et l'économie. Elle vaut environ 41,86 GJ et correspond au pouvoir calorifique moyen d'une tonne de pétrole, qui est alors la source de comparaison.

Le tableau suivant indique quelques équivalences entre sources d'énergie :

Source d'énergie	Quantité	TEP
houille (charbon)	1 tonne	0,619
lignite (charbon faiblement énergétique)	1 tonne	0,405
pétrole brut, gazole/fioul domestique	1 tonne	1
GPL	1 tonne	1,095
essence	1 tonne	1,048
bois	1 tonne	0,3215
gaz naturel	1 000 m ³	0,86

Pour lutter contre le réchauffement climatique, les nouvelles normes imposent de réduire les rejets de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère car il contribue à l'effet de serre. En 2010, la France rejetait environ 350 millions de tonnes de CO₂ contre 370 millions en 1990. L'objectif fixé est de diviser par 4 les émissions d'ici à 2050.

Les combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) rejettent du CO₂ lors de leur combustion comme l'indique le tableau suivant :

	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Bois	Déchets ménagers
Tonnes de CO ₂ par TEP	4	3,1	2,4	0	Entre 3 et 5,4

Le "bilan CO₂" du bois est nul car on considère que le bois absorbe autant de CO₂ durant sa croissance qu'il en rejette dans l'atmosphère lors de sa combustion.

1. Le gaz naturel (ou gaz de ville) est un combustible fossile essentiellement composé de gaz méthane de formule chimique brute CH₄.

Écrire et équilibrer la réaction chimique de combustion du méthane avec le dioxygène, O₂ sachant que les produits de la combustion sont de l'eau H₂O et du dioxyde de carbone CO₂.

2. La chaudière consomme une masse *m* de 7000 tonnes de bois par an.

Déterminer numériquement la quantité de TEP, notée *Q*_{TEP}, produite par le bois pendant les 25 années du contrat d'exploitation de la chaufferie.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 2 sur 8

3. En déduire le nombre N_{CO_2} de tonnes de rejet de CO_2 économisées, pendant les 25 années de contrat, grâce à l'utilisation du bois à la place du gaz naturel à quantité égale d'énergie thermique produite.

II. Rendement de la chaudière à bois

La chaufferie utilise principalement du bois comme combustible : il constitue 80 % du bouquet énergétique. Toutefois, elle dispose aussi de deux chaudières d'appoint au gaz naturel, d'une puissance totale de 12,5 MW. Elles sont utilisées lors des pics de puissance en plein hiver, lors des périodes de maintenance de la chaudière bois, ou pendant la période creuse de l'été pour la fourniture d'eau chaude sanitaire.



Le pouvoir calorifique du bois varie selon son taux d'humidité mais aussi selon les essences de bois brûlées : on retiendra une valeur moyenne $PC_{bois} = 3,7 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$.

1. La chaudière consomme une masse m de 7000 tonnes de bois par an. Calculer en GW·h l'énergie calorifique annuelle Q_{bois} fournie par le bois brûlé dans la chaudière.

2. La chaudière bois fournit annuellement une quantité de chaleur Q_A de 22 GW·h au réseau d'eau chaude. Calculer le rendement énergétique η_{bois} de la chaudière bois.

III. Insuffisance de la chaudière à bois

Dans les pires conditions hivernales, l'eau entre dans la chaudière à une température moyenne $\theta_e = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Elle en ressort à une température moyenne $\theta_s = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Données : Capacité calorifique massique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Masse volumique moyenne de l'eau entre $70 \text{ }^\circ\text{C}$ et $100 \text{ }^\circ\text{C}$: $\rho = 970 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

1. Lorsque l'eau a effectué un cycle complet dans le réseau, montrer que la quantité de chaleur Q_c fournie par la chaudière est environ égale à $3,5 \text{ MW}\cdot\text{h}$.
On considère que l'eau dans le circuit est incompressible ; son volume total V dans ce circuit est égal à 100 m^3 .

2. La puissance fournie par la chaudière bois s'élève à 5,5 MW.
La durée d'un cycle de circulation pour les 100 m^3 d'eau du réseau dure 30 minutes.
Justifier alors l'utilisation des chaudières auxiliaires à gaz naturel en plein hiver.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 3 sur 8

B. Réseau de distribution

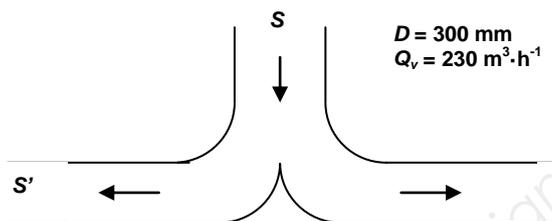
I. Section des conduites en bout de réseau

1. À la sortie de la chaudière, le débit volumique de l'eau Q_v est égal à $230 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et le diamètre D de la tuyauterie principale est de 300 mm.

1.1. Calculer la section S de la tuyauterie principale.

1.2. Calculer la vitesse v d'écoulement de l'eau.

2. En bout de réseau, afin d'alimenter deux zones distinctes, la tuyauterie principale se partage en deux tuyauteries de caractéristiques identiques entre elles (les deux tuyauteries sont identiques sur toute leur longueur).



2.1. Donner la valeur du débit volumique Q' dans chacune des deux dérives.

2.2. On souhaite que la vitesse d'écoulement v' de l'eau conserve la valeur $0,90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Déterminer la section S' des deux tuyauteries.

II. Puissance des pompes

On admet que l'admission et le refoulement de l'eau s'effectuent à la même altitude, que la section de la tuyauterie est la même à l'entrée et à la sortie du circulateur et que la masse volumique de l'eau est invariable.

Déterminer, à partir de l'équation de Bernoulli, la puissance P_{pompes} fournie par le système de pompes qui assurent la circulation de l'eau dans le réseau.

Données :

Pression de l'eau à l'entrée du circulateur :	$P_1 = 2,0 \text{ bar}$
Pression de l'eau à la sortie du circulateur :	$P_2 = 5,0 \text{ bar}$
Débit volumique de l'eau :	$Q_v = 230 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Équation de Bernoulli (en négligeant les pertes de charges entre l'entrée et la sortie du

circulateur) :

$$(P_2 - P_1) + \rho g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \frac{P_{pompes}}{Q_v}$$

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 4 sur 8

C. Entraînement des pompes

Positionné à la sortie de la chaufferie, le circulateur existant est largement surdimensionné pour le réseau actuel. En effet, il est prévu pour assurer un débit maximal de l'ordre de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Il est composé de trois motopompes identiques alimentées par l'intermédiaire de variateurs. Pour des raisons de fonctionnement, les pompes ne sont jamais exploitées à plus de 70 % de leur puissance nominale et une des trois pompes doit toujours rester disponible en secours.

I. Motorisation d'une pompe

Chaque pompe est entraînée par un moteur asynchrone triphasé bipolaire dont on donne la plaque signalétique modélisée ci-dessous:

45 kW	$\cos\phi = 0,9$	50 Hz
Δ 400 V	82 A / 47,5 A	
Y 690V	2900 tr·min⁻¹	

1. Compléter la figure 1 du document réponse 1 en indiquant le couplage du moteur asynchrone triphasé sur un réseau 230 / 400 V. Justifier la réponse.
2. Indiquer la valeur efficace nominale du courant de ligne I_N .
3. Donner la vitesse de synchronisme N_s du moteur en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
4. Déterminer la valeur du couple utile nominal T_{uN} .

II. Contrôle de débit

La vitesse d'entraînement des pompes est variable afin de permettre le contrôle du débit d'eau dans le réseau. Le variateur est un onduleur triphasé à rapport U/f constant.

On donne en figure 1 du document réponse 2 la caractéristique mécanique $T_u = f(N)$ du moteur asynchrone dans sa partie linéaire à une fréquence électrique $f = 50 \text{ Hz}$ sous tension nominale.

Pour obtenir le débit d'eau voulu, le moteur doit tourner à une vitesse de $1730 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Il fournit alors un moment de couple T_u de $100 \text{ N} \cdot \text{m}$.

1. Tracer la nouvelle caractéristique $T_u' = f(N)$ passant par ce nouveau point de fonctionnement P que l'on fera apparaître sur la figure 1 du document réponse 2.
2. En déduire graphiquement que la nouvelle vitesse de synchronisme N_s' vaut $1800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.
3. En déduire la nouvelle fréquence électrique f' et la valeur efficace U' de la nouvelle tension d'alimentation fournie par le variateur.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 5 sur 8

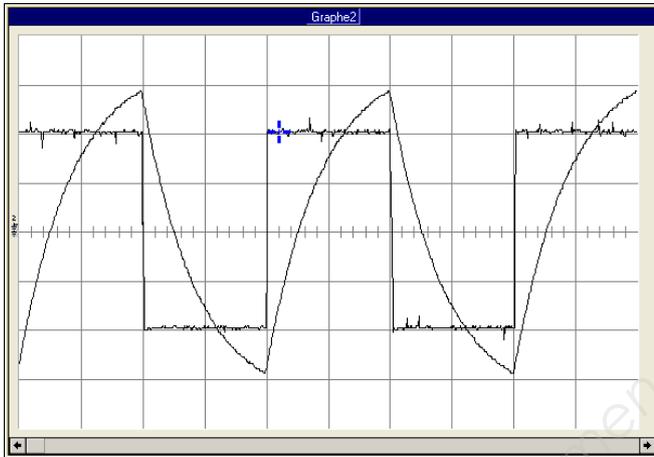
III. Dispositif d'alimentation électrique

Le schéma d'une phase de l'onduleur triphasé qui alimente le moteur asynchrone est donné figure 2, document réponse 2.

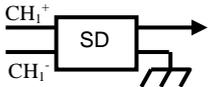
Les éléments H_1 , H_2 , H_3 et H_4 sont des interrupteurs électroniques composés chacun d'une diode D et d'un transistor T .

1. Indiquer le type de conversion réalisée.
2. On visualise à l'oscilloscope la tension u_c et le courant i_c .

On obtient l'oscillogramme suivant :



Base de temps : 5 ms / DIV

Voie 1 : Mesure de la tension 

- sonde différentielle de tension réductrice par 20
- sensibilité oscilloscope : 10 V / DIV

Voie 2 : Mesure du courant 

- pince ampèremétrique 1,0 V \leftrightarrow 1,0 A
- sensibilité oscilloscope : 10 V / DIV

2.1. Indiquer sur la figure 2 du document réponse 2 les branchements des différents appareils permettant de relever ces oscillogrammes.

2.2. Déterminer la valeur de la tension E .

2.3. Déterminer l'amplitude du courant i_c .

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 6 sur 8

Document réponse 1
à rendre avec la copie

r é s e a u	Phase 1
	Phase 2
	Phase 3
	Neutre

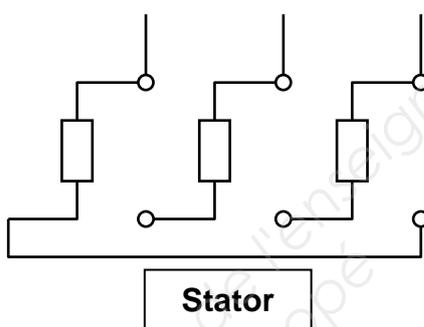


Figure 1

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 7 sur 8

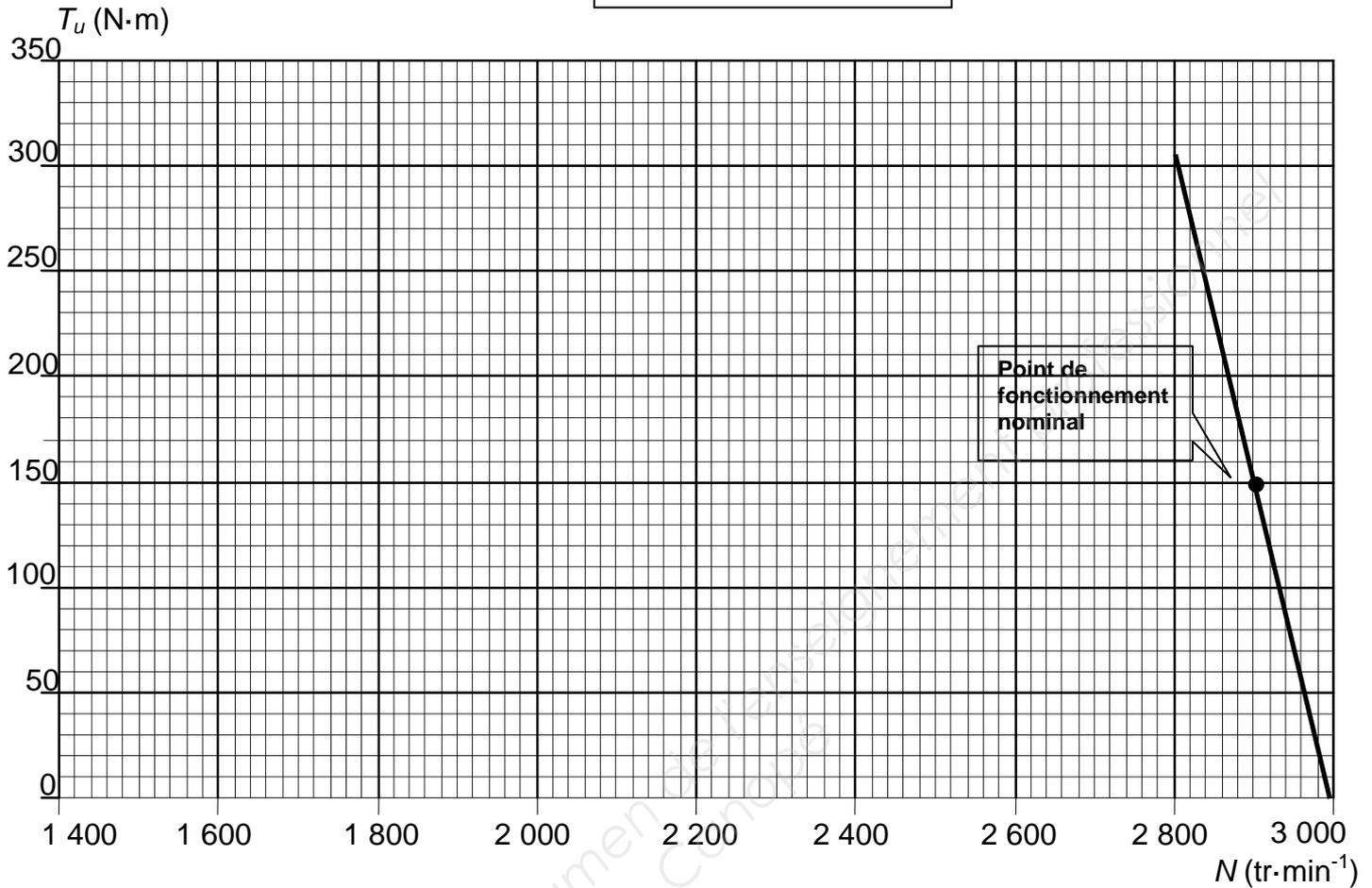


Figure 1

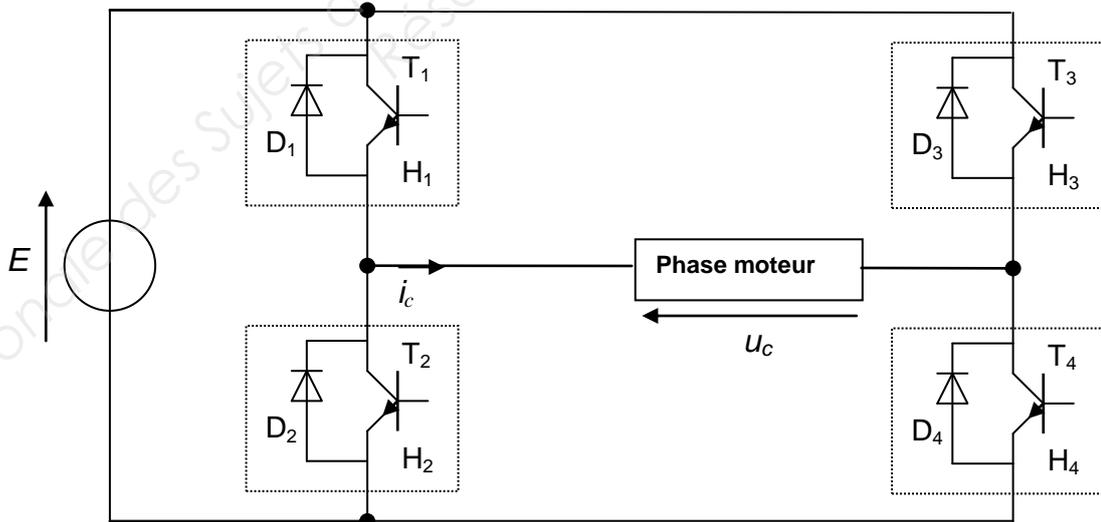


Figure 2

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2015
épreuve U32 - sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 15MIE3SC		page 8 sur 8