

**Session 2014**

**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.**

**Important**

**Ce sujet comporte 7 pages.**

**Le document réponse, page 7, est àagrafer avec la copie.**

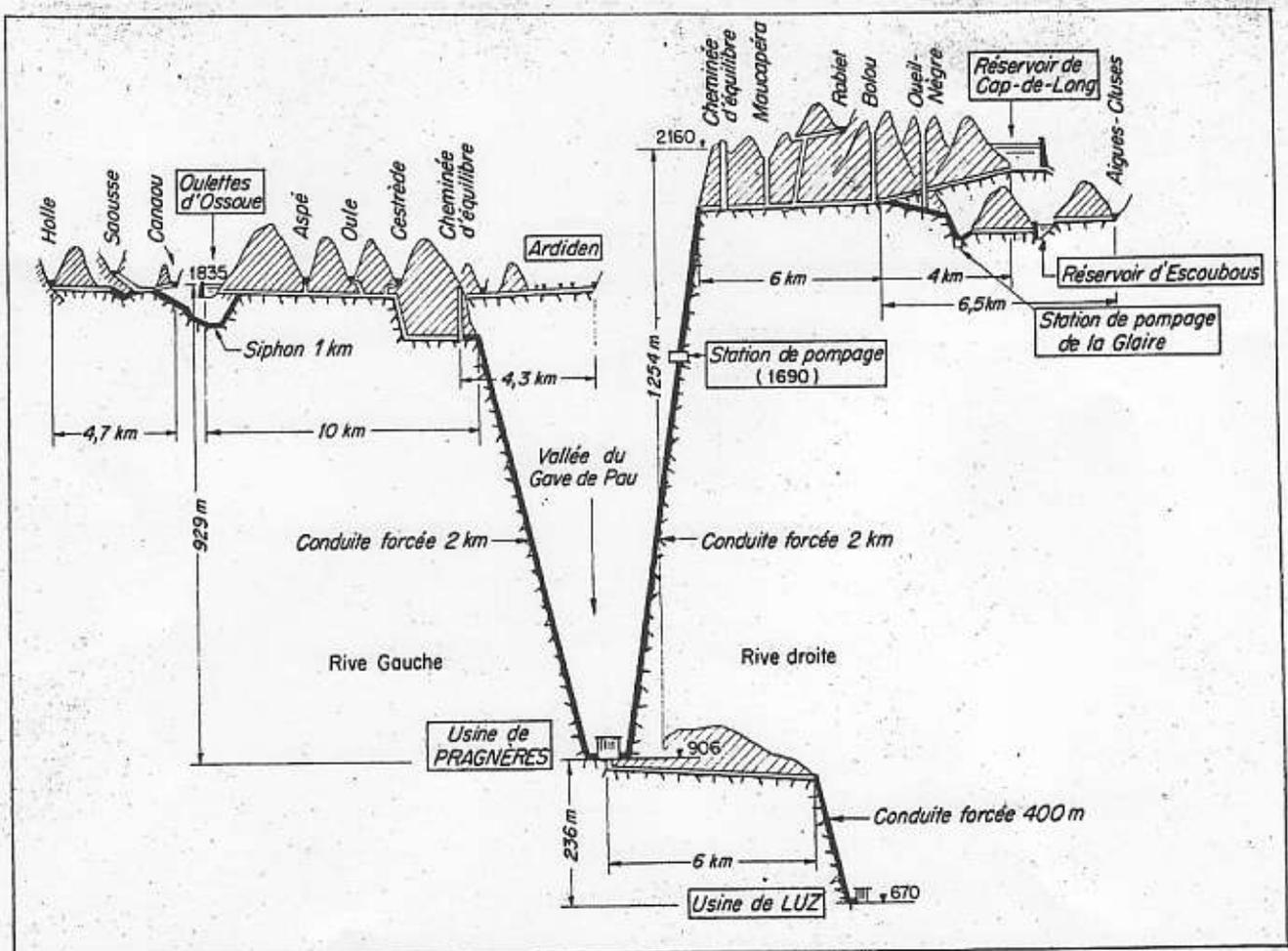
# Station de pompage de la centrale de Pragnères

La centrale hydroélectrique de Pragnères dans le département des Hautes Pyrénées, d'une puissance installée de 185 MW, produit en moyenne 320 GW·h par an soit la consommation domestique d'une ville d'environ 135 000 habitants.

C'est une centrale de haute chute, 1254 m de dénivelé, alimentée par le réservoir principal de Cap de Long qui stocke à lui seul 67 millions de m<sup>3</sup> d'eau.

Plus de 40 km de galeries creusées dans la montagne raccordent les nombreux réservoirs des deux versants de la vallée ce qui forme un système de vases communicants destiné à la « cueillette de l'eau ». Au printemps, à la fonte des neiges, l'eau en excès dans le massif du Vignemale est collectée à la retenue des Oulettes d'Ossoue pour être transférée au réservoir de Cap de Long grâce à la station de pompage située à 1690 m d'altitude. La centrale de Pragnères n'est pas en activité; l'eau remonte alors par la même conduite que celle qui sert à la production d'électricité.

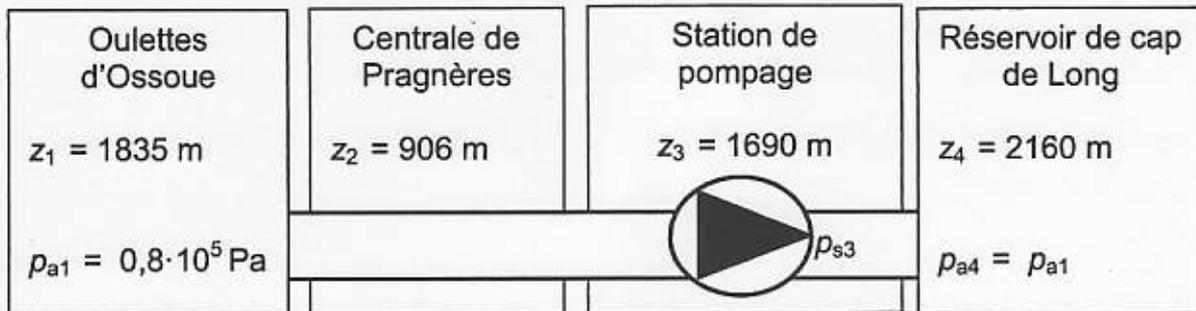
L'objectif est de remplir le lac de Cap de Long au maximum pour disposer d'une réserve d'énergie afin de pouvoir répondre instantanément aux pics de consommation durant l'hiver.



BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 1/7

## A. Choix de l'emplacement de la station de pompage

### 1. Puissance de pompage



Données :

L'énergie cinétique est négligeable devant les autres énergies.

Équation de Bernoulli simplifiée entre un point d'entrée (e) et un point de sortie (s) :

$$\frac{p(e)}{\rho \cdot g} + z(e) + \frac{P_{hydro}}{\rho \cdot g \cdot Q_v} - \Delta h = \frac{p(s)}{\rho \cdot g} + z(s)$$

Masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Débit volumique :  $Q_v = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Diamètre intérieur des canalisations :  $D = 1,5 \text{ m}$

Accélération de pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Les pertes de charge totales, exprimées en hauteur de colonne d'eau, entre le réservoir des Oulettes d'Ossoue et celui de Cap de Long valent  $\Delta h = 205 \text{ m}$ .

- 1.1. Montrer que la puissance utile  $P_{hydro}$  de la pompe installée entre les Oulettes d'Ossoue et Cap de Long est égale à 26 MW.
- 1.2. Expliquer pourquoi la puissance utile de la pompe aurait été identique si la station de pompage avait été installée à Pragnères à l'altitude  $z_2 = 906 \text{ m}$ .

### 2. Emplacement de la station de pompage

La pression en sortie de pompe de la station de pompage à l'altitude  $z_3 = 1690 \text{ m}$  est d'environ 50 bars.

Si la station de pompage avait été installée dans la vallée à Pragnères à 906 m, la pression en sortie de pompe aurait été d'environ 130 bars.

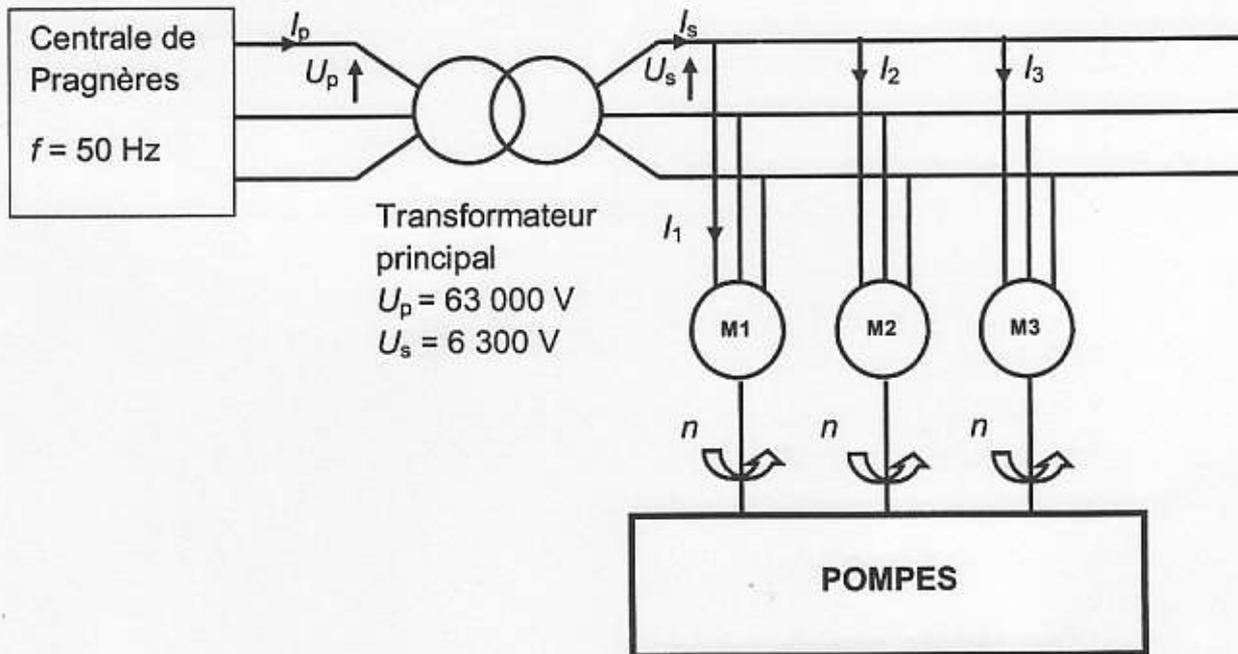
Expliquer sans calcul l'augmentation de cette pression.

C'est la raison pour laquelle, malgré la difficulté du chantier, la station de pompage a été construite en pleine falaise à 1690 m.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 2/7

## B. Motorisation de la station de pompage

En fait, la station de pompage située à 1690 m est constituée de trois pompes en parallèle, actionnées par trois moteurs synchrones triphasés. La puissance nécessaire à la remontée de l'eau dans la conduite forcée est légèrement inférieure à 26 MW.



On donne les plaques des moteurs :

Moteur M1

5,2 MW	$\cos\varphi = 1$	6 pôles
$\Delta$ 3640 V – 857 A		50 Hz
Y 6300 V – 495 A		
<b>Excitation</b>		
$U_{e1} = 80 \text{ V}$		$I_{e1} = 500 \text{ A}$

Moteur M2 et M3

10,4 MW	$\cos\varphi = 1$	6 pôles
$\Delta$ 3640 V – 1680 A		50 Hz
Y 6300 V – 970 A		
<b>Excitation</b>		
$U_{e2} = 80 \text{ V}$		$I_{e2} = 450 \text{ A}$

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 3/7

1. Indiquer le couplage des moteurs sur le réseau d'alimentation.
2. Déterminer la vitesse de synchronisme  $n_s$  de ces trois moteurs.
3. Vérifier que les trois moteurs synchrones permettent de répondre aux besoins de la station de pompage étudiée précédemment dans le cas simplifié où on néglige les pertes dans les pompes.
4. Protection statorique du moteur 1

Les moteurs synchrones sont démarrés en court-circuitant le rotor.

La valeur efficace du courant statorique du moteur 1 est  $I_1 = 495 \text{ A}$ .

Le coefficient de surintensité au démarrage du moteur 1 vaut 3,5.

La protection associée doit couvrir un dépassement de 20% de la valeur maximum du courant statorique de démarrage.

Le magasin de maintenance dispose de fusibles 1800 A temporisés 1 s et de fusibles 2100 A temporisés 1 s.

Déterminer le fusible adapté pour protéger les enroulements statoriques du moteur.

### C. Excitation du rotor du moteur synchrone

Les tensions  $v_1, v_2, v_3$  forment un système de trois tensions triphasées équilibrées. Elles proviennent d'un transformateur  $T'_1$  triphasé, branché sur les barres 6300 V du secondaire du transformateur principal. Les circuits d'excitation des trois rotors ne sont pas représentés sur le schéma de la figure 1 du document réponse.

1. On souhaite visualiser  $u_c$  et  $i_{d1}$

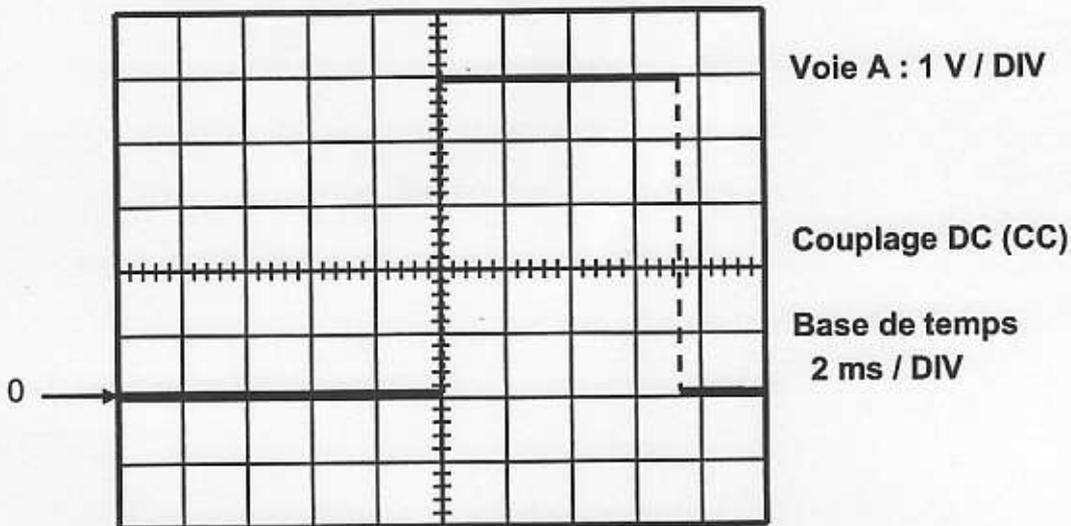
Proposer les appareils de mesure utilisés et indiquer le branchement de ces appareils sur la figure 1 du document réponse.

2. Le courant  $I_{e1} = 500 \text{ A}$  est un courant continu car lissé par la bobine du rotor du moteur synchrone.

Trois pinces de courant sont disponibles : la pince  $P_1$  de sensibilité 100 mV/A, la pince  $P_2$  de sensibilité 10 mV/A et la pince  $P_3$  de sensibilité 1 V/A.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 4/7

A partir de l'oscillogramme simplifié du courant  $i_{dt}$  donné ci-dessous, déterminer la pince qui a été utilisée.



### D. Refroidissement du moteur synchrone

Le moteur synchrone est refroidi par de l'air circulant en circuit fermé et qui échange de la chaleur avec l'eau de réfrigération provenant de la canalisation. Pour modéliser les échanges d'énergie, on considère que ce gaz dans son ensemble, subit des transformations successives formant un cycle :

- Transformation **A - B** : compression adiabatique réversible faisant passer l'air de la pression  $P_A = 2,0 \cdot 10^5$  Pa à la pression  $P_B = 5,0 \cdot 10^5$  Pa
- Transformation **B - C** : refroidissement isobare
- Transformation **C - D** : détente adiabatique réversible
- Transformation **D - A** : réchauffement isobare

L'air est considéré comme un gaz parfait.

Données :

$$V_A = 0,24 \text{ m}^3 ; T_A = 353 \text{ K} ; T_C = 370 \text{ K} ; T_D = 285 \text{ K}.$$

$$\text{Capacité thermique molaire à pression constante : } C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Constante des gaz parfaits : } R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{Coefficient adiabatique : } \gamma = C_p / C_v = 1,4$$

On rappelle les relations de Laplace pour les transformations adiabatiques réversibles :

$$P \cdot V^\gamma = \text{constante} ; T \cdot V^{\gamma-1} = \text{constante} ; T \cdot P^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{constante}$$

### I. Caractéristiques du gaz

1. Calculer le nombre  $n$  de moles d'air contenu dans le circuit fermé.
2. Calculer le volume  $V_B$ .
3. Calculer la température  $T_B$ .

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 5/7

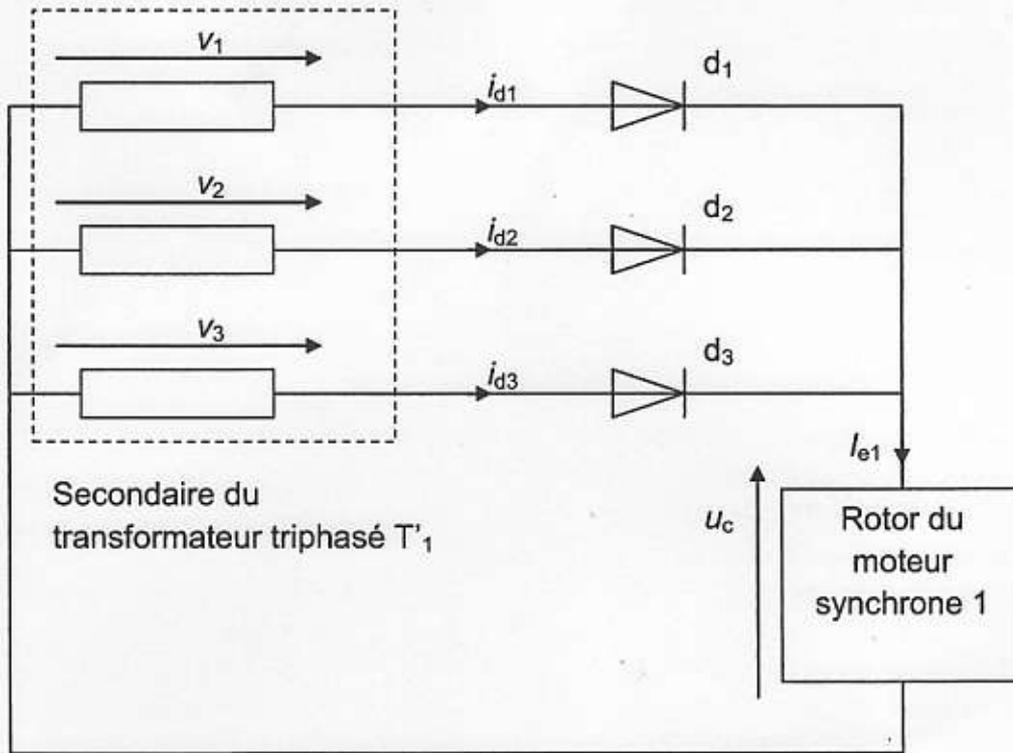
Pour la suite du problème, on prendra  $T_B = 450 \text{ K}$ .

## II. Efficacité thermodynamique

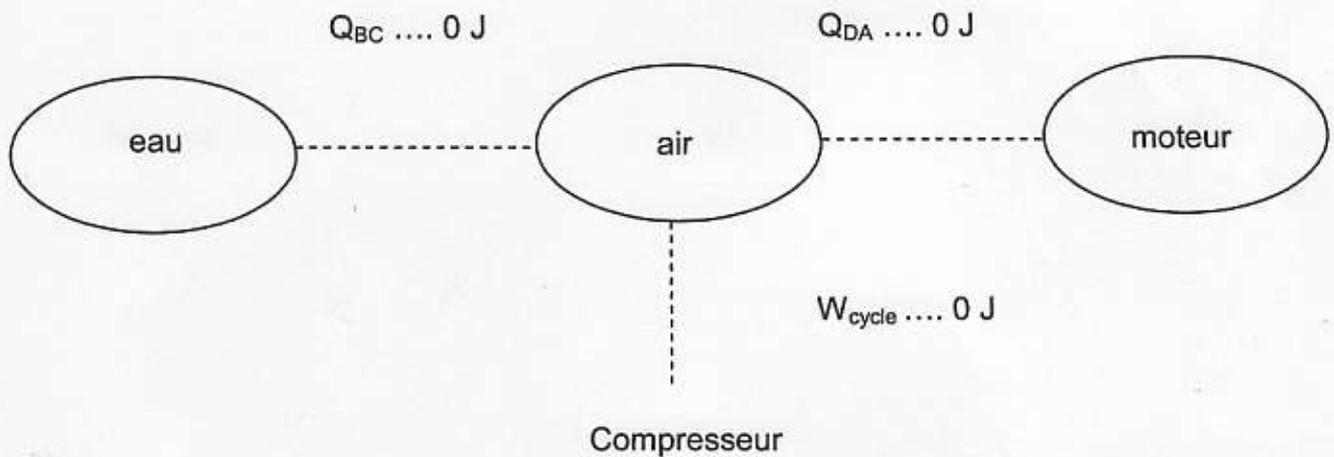
1. Déterminer les chaleurs échangées par l'air avec le milieu extérieur pendant chaque transformation du cycle  $Q_{AB}$ ,  $Q_{BC}$ ,  $Q_{CD}$ ,  $Q_{DA}$ .
2. Énoncer le premier principe de la thermodynamique appliqué à un cycle et en déduire le travail  $W_{\text{cycle}}$ .
3. Compléter la figure 2 du document réponse en faisant apparaître le signe des énergies échangées entre les différents systèmes puis en fléchant les transferts pour en indiquer le sens.

BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 6/7

**Figure 1**



**Figure 2**



BTS maintenance industrielle	sujet	session 2014
épreuve U32 sciences physiques	durée : 2 heures	coefficient : 2
Code : 14-MIE3SC		page 7/7