

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

# CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

## U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*



*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.*

- *Chimie industrielle* : *page 2 à page 4*
- *Physique industrielle* : *page 5 à page 10*

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

***Aucun document autorisé.***

***Calculatrice réglementaire autorisée.***

***Tout autre matériel est interdit.***

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼

# CHIMIE INDUSTRIELLE

## EXERCICE 1 : l'uranium, de la mine à la centrale

• **Données :**

\* Conversions d'unités d'énergie :  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$        $1 \text{ t.e.p.} = 42 \times 10^9 \text{ J}$

\* Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2 = 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg}$

\* Nom, symbole et masse de certaines particules :

Nom	Neutron	Uranium 235	Strontium 95	Xénon 139
Particule	${}_0^1 \text{n}$	${}_{92}^{235} \text{U}$	${}_{38}^{95} \text{Sr}$	${}_{54}^{139} \text{Xe}$
Masse (u)	1,009	235,120	94,945	138,955

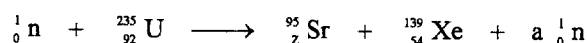
L'uranium est un élément présent naturellement dans l'écorce terrestre. Les principales mines se trouvent en Australie, au Canada et en Russie.

Après purification et transformation du minerai on obtient un solide jaune, le yellow - cake, contenant environ 75 % d'uranium.

Le yellow cake contient deux isotopes de l'uranium : l'uranium 235 fissile <sup>(1)</sup> (0,7 %) et l'uranium 238 fertile <sup>(2)</sup> (99,3 %).

Dans les centrales nucléaires de type REP (Réacteur à Eau sous Pression) on utilise comme combustible de l'uranium faiblement enrichi <sup>(3)</sup> en uranium 235 (à hauteur d'environ 3 %).

De nombreuses fissions de l'uranium 235 sont susceptibles de se produire dans le cœur de la centrale ; une des réactions possibles conduit à du strontium 95 et du xénon 139 comme l'indique l'équation ci-dessous :



L'uranium 238 fertile <sup>(2)</sup> participe à sa manière à la production d'énergie. Dans certains cas, il peut en effet capturer un neutron, puis après deux désintégrations  $\beta^-$  successives, conduire à un noyau fissile <sup>(1)</sup>.

(1) : un noyau fissile est un noyau susceptible de subir une fission nucléaire

(2) : un noyau fertile est un noyau susceptible de produire, dans certaines conditions, un noyau fissile

(3) : en France, l'enrichissement s'effectue par diffusion gazeuse sur le site de Tricastin

• **Questions :**

1. Donner la composition des noyaux des deux isotopes de l'uranium cités dans le texte.
2. Après avoir rappelé les lois de conservation utilisées, déterminer le nombre  $a$  de neutrons émis par la fission d'un noyau d'uranium 235 ainsi que le numéro atomique  $Z$  du strontium.
3. À l'aide d'un bilan de masse, calculer l'énergie  $Q$  libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235. On donnera le résultat en MeV.
4. Compte tenu de toutes les réactions possibles, la fission d'un noyau d'uranium 235 libère en moyenne une énergie  $Q$  de l'ordre de 200 MeV.  
Calculer l'énergie  $Q'$  libérée par la fission d'une masse  $m = 1,0$  g d'uranium 235. On donnera le résultat en joules puis en t.e.p.
5. Préciser la nature de la particule  $\beta^-$ .

**EXERCICE 2 : réactions mettant en jeu l'iodure d'hydrogène**

• **Données :**

- \* Conversion d'unités de pression :  $1 \text{ bar} = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$
- \* Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
- \* Équation d'état des gaz parfaits :  $pV = nRT$
- \* Enthalpie standard de formation  $\Delta_f H^\circ$  à 298 K de quelques espèces chimiques :

Espèce	HI	H <sub>2</sub> O	I <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
État physique	gazeux	gazeux	gazeux	gazeux
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	26,40	- 241,8	62,40	0

• **Questions :**

1. Dans certaines conditions, l'iodure d'hydrogène HI est susceptible de se dissocier pour former du dihydrogène H<sub>2</sub> et du diiode I<sub>2</sub>. L'équation chimique de l'équilibre atteint est donnée ci-dessous.



## CAE3CI

On place dans un réacteur clos de volume constant  $V = 50,0$  L une quantité  $n_i = 10,0$  mol d'iodure d'hydrogène HI. La température à l'intérieur du réacteur est maintenue constante et égale à  $T = 500$  K. Toutes les espèces sont à l'état gazeux ; les gaz se comportent comme des gaz parfaits.

- 1.1. Calculer la valeur de la pression totale initiale  $p_i$  à l'intérieur du réacteur.
- 1.2. Justifier que la pression totale du mélange gazeux reste constante et égale à  $p_i$  au cours de la transformation.
- 1.3. On note  $p_{\text{HI}}$ ,  $p_{\text{H}_2}$  et  $p_{\text{I}_2}$  les pressions partielles des espèces à l'équilibre. Donner l'expression de la constante d'équilibre  $K$  en fonction des pressions partielles à l'équilibre.
- 1.4. Montrer que la constante d'équilibre  $K$  peut se mettre sous la forme :

$$K = \frac{p_{\text{H}_2}^2}{(p_i - 2 p_{\text{H}_2})^2}$$

- 1.5. Par une méthode non décrite ici on mesure la pression partielle en dihydrogène à l'équilibre :  $p_{\text{H}_2} = 0,68$  bar.  
Calculer la valeur de la constante d'équilibre  $K$  à la température considérée.
2. Dans d'autres conditions, l'iodure d'hydrogène HI est susceptible de subir une combustion complète en présence de dioxygène  $\text{O}_2$  ; il se forme de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  et du diiode  $\text{I}_2$ . Toutes les espèces sont à l'état gazeux ; les gaz se comportent comme des gaz parfaits.
    - 2.1. Écrire l'équation chimique de la réaction de combustion complète (combustion neutre) considérée pour une mole de  $\text{O}_2$ .
    - 2.2. Déterminer la valeur de l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ$  à 298 K associée à cette combustion.
    - 2.3. La réaction est-elle exothermique, endothermique ou athermique ? Justifier la réponse à partir de la valeur de l'enthalpie standard calculée à la question précédente.

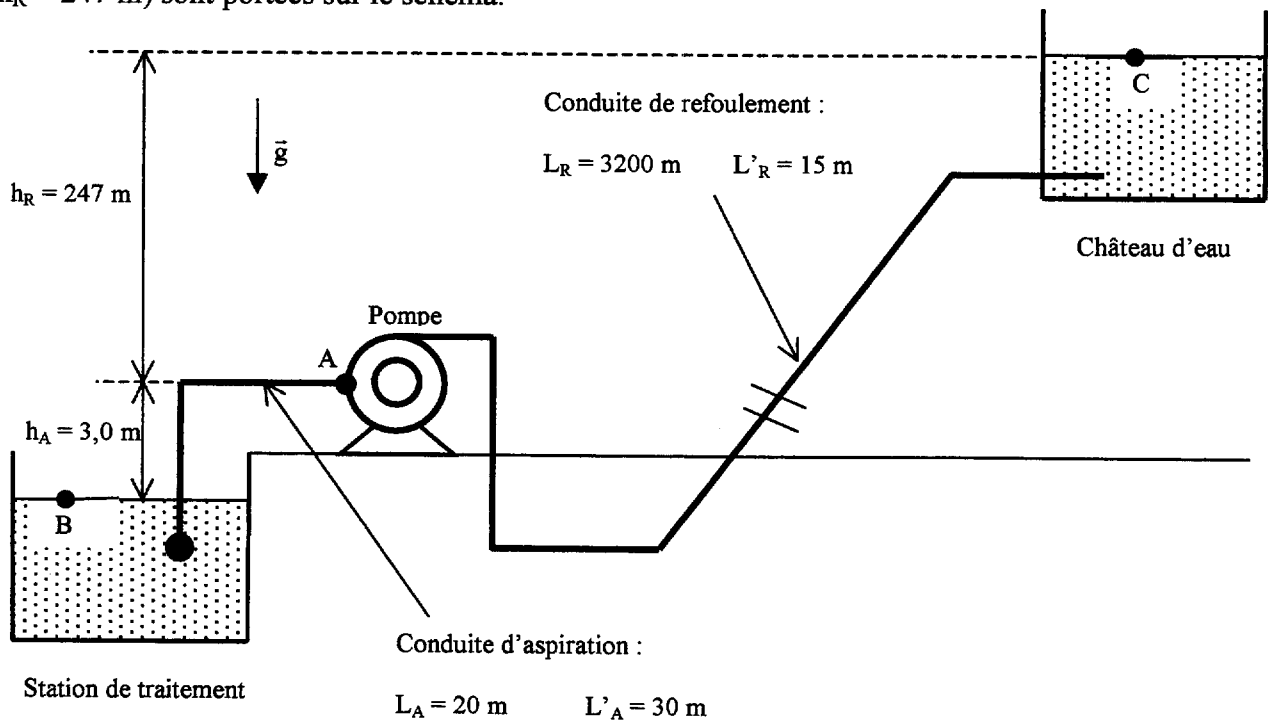
# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## Alimentation en eau potable d'un village

• **Données :**

- |   |   |
|---|---|
| * Accélération de la pesanteur :                        | $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$                |
| * Pression atmosphérique normale :                      | $p_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$                  |
| * Masse volumique de l'eau :                            | $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$          |
| * Viscosité dynamique de l'eau :                        | $\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ |
| * Pression de vapeur saturante de l'eau :               | $p_{\text{sat}} = 2,3 \text{ kPa}$                  |
| * Nombre de Reynolds :                                  | $Re = \frac{\rho v D}{\eta}$                        |
| * Pertes de charges dans une conduite :                 | $H_c = \lambda \frac{(L+L') v^2}{D \cdot 2g}$       |
| * Puissance utile communiquée au fluide par une pompe : | $P_{\text{utile}} = \rho g q_v H_{\text{pompe}}$    |

- Un château d'eau, assurant l'alimentation en eau potable d'un petit village, est approvisionné par l'intermédiaire d'une longue conduite amenant l'eau d'une station de traitement placée en contrebas. L'installation est décrite sur le schéma ci-dessous. Les conduites d'aspiration (longueur  $L_A = 20 \text{ m}$ ) et de refoulement (longueur  $L_R = 3200 \text{ m}$ ) sont fabriquées dans le même matériau (même rugosité moyenne  $\epsilon = 1 \text{ mm}$ ) et ont le même diamètre nominal  $D = 200 \text{ mm}$ . Trois points remarquables (orifice d'aspiration A de la pompe, points B et C des surfaces libres de l'eau dans la station et dans le château) ainsi que deux hauteurs géométriques ( $h_A = 3,0 \text{ m}$  et  $h_R = 247 \text{ m}$ ) sont portées sur le schéma.



## CAE3CI

Pour satisfaire les besoins du village, la pompe doit refouler vers le château 3 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour en fonctionnant 24 h sur 24.

On souhaite déterminer dans cet exercice, la pompe à utiliser pour assurer l'approvisionnement du château d'eau. Les caractéristiques de débit fournies par le fabricant figurent dans l'ANNEXE 1.

On souhaite également déterminer la consommation électrique journalière de l'installation munie de cette pompe.

Dans tout l'exercice on supposera que l'eau est un fluide incompressible et que le régime d'écoulement est permanent.

### • Questions :

#### 1. Détermination du coefficient de pertes de charges $\lambda$

On rappelle que la pompe, fonctionnant 24 h sur 24, refoule vers le château 3 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour.

1.1. Quel est le débit-volume  $q_v$  dans les canalisations ? Exprimez le en m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> puis L·s<sup>-1</sup>.

1.2. Quelle est (en m·s<sup>-1</sup>) la vitesse moyenne  $v$  d'écoulement de l'eau dans les canalisations ?

On prendra dans la suite de l'exercice les valeurs :  $q_v = 35 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  et  $v = 1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

1.3. Quelle est la valeur du nombre de Reynolds  $Re$  associé à cet écoulement ?

1.4. L'écoulement est-il laminaire ou turbulent ? Justifier la réponse.

1.5. À l'aide des abaques de Colebrook fournis dans l'ANNEXE 3, déterminer graphiquement la valeur du coefficient de pertes de charges  $\lambda$  pour l'écoulement considéré.

#### 2. Choix de la pompe

On suppose que les niveaux d'eau dans le château et dans la station de traitement ne varient pas de manière significative.

Les pertes de charges singulières dans les conduites d'aspiration et de refoulement ont des équivalences en longueurs droites de conduites qui valent respectivement :

$$L'_A = 30 \text{ m} \quad \text{et} \quad L'_R = 15 \text{ m}.$$

2.1. Rappeler brièvement à quoi sont dues les pertes de charges singulières.

2.2. Calculer les pertes de charges  $H_c^{\text{asp}}$  à l'aspiration et  $H_c^{\text{ref}}$  au refoulement. En déduire la perte de charge totale  $H_C$  de l'installation.

2.3. En appliquant la relation de Bernoulli, déterminer la hauteur manométrique de pompe  $H_{\text{pompe}}$  requise par l'installation.

On prendra dans la suite de l'exercice la valeur :  $H_{\text{pompe}} = 280 \text{ m}$ .

2.4. Laquelle des trois pompes (1), (2) ou (3) doit-on choisir pour assurer l'alimentation du village ? Justifier la réponse.

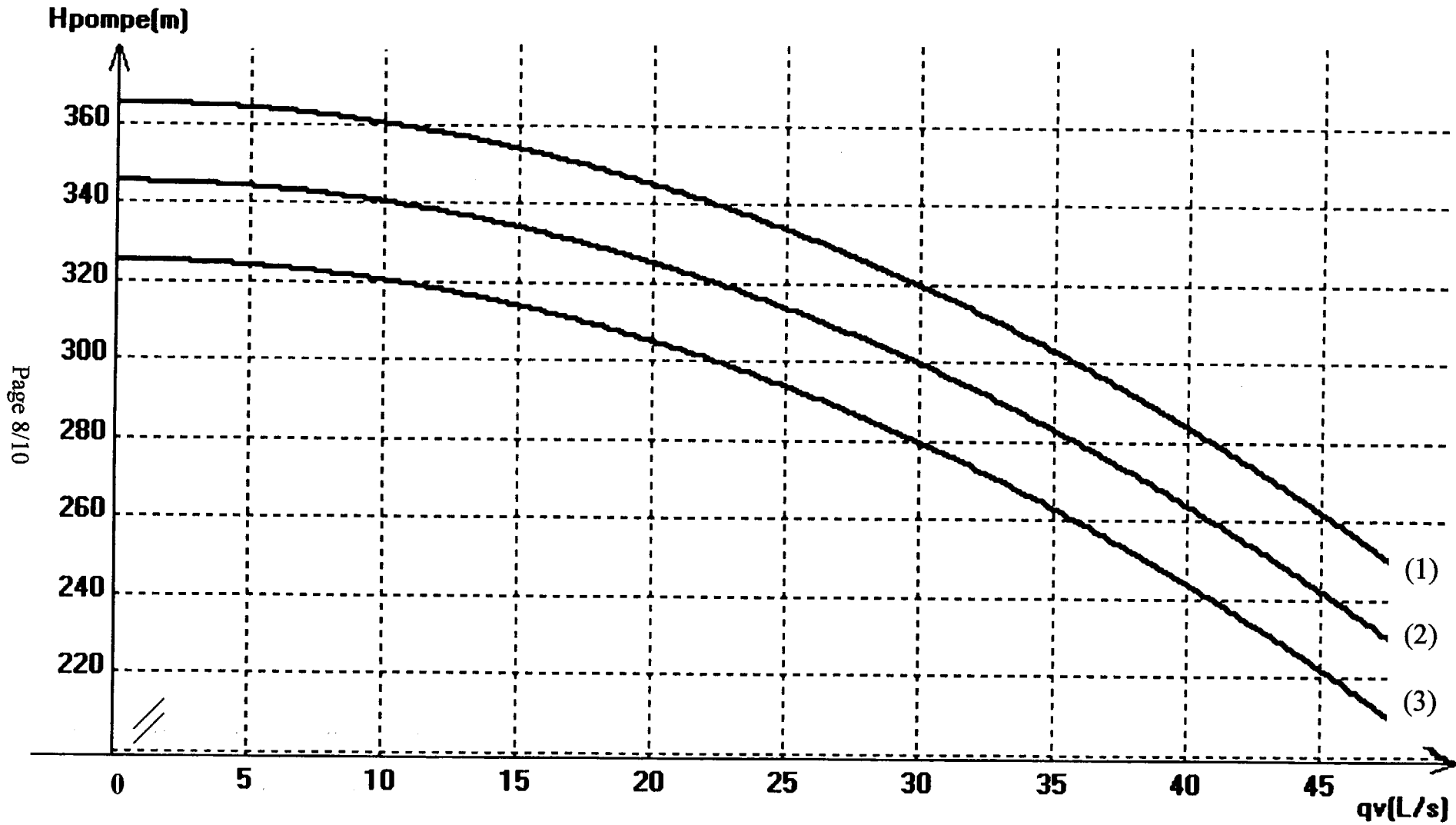
**3. Consommation de l'installation**

**3.1.** Calculer la puissance hydraulique utile  $P_{\text{utile}}$  fournie par la pompe à l'eau.

**3.2.** La pompe est entraînée par un moteur électrique.

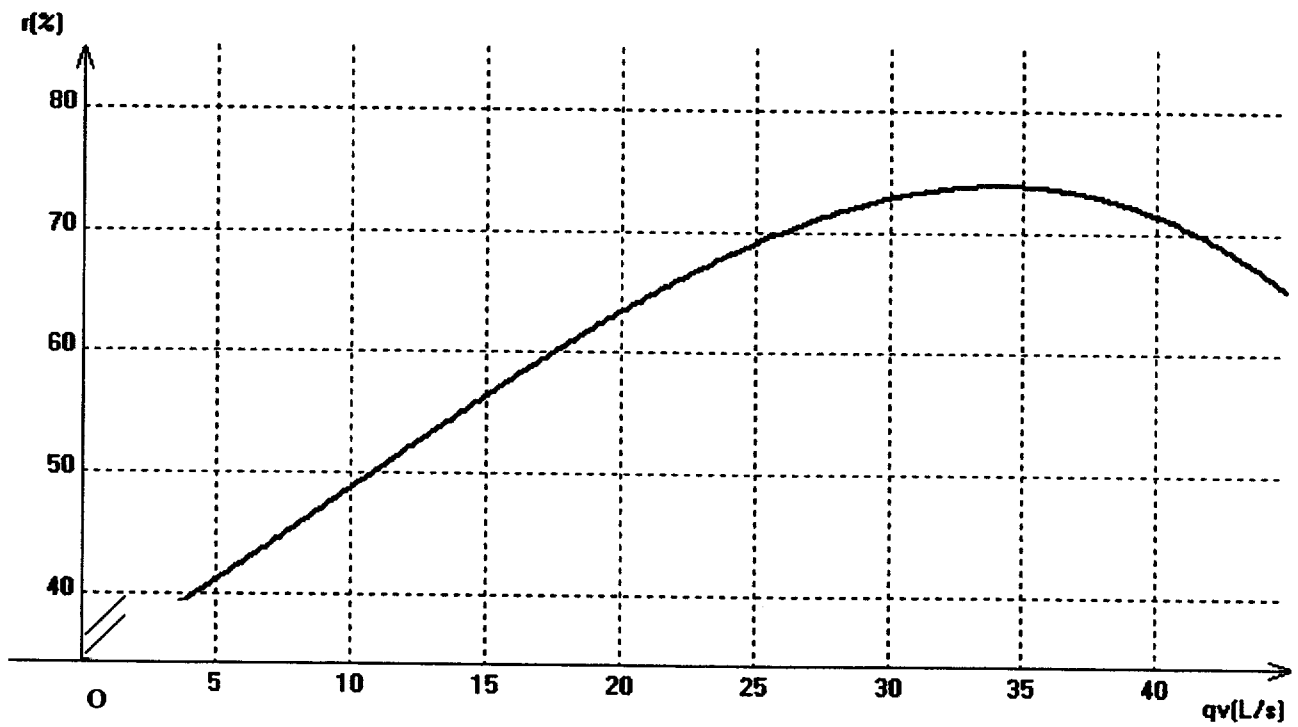
À l'aide du **graphe de l'ANNEXE 2**, déterminer le rendement  $r$  de l'ensemble {moteur / pompe}.

**3.3.** Dédire des questions précédentes la puissance électrique  $P$  de l'installation ainsi que sa consommation électrique journalière en kilowattheures.

ANNEXE 1 : caractéristiques des trois pompes



**ANNEXE 2 : graphe : rendement de la pompe choisie**



**ANNEXE 3 : abaques de COLEBROOK**

