

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

E-3 SCIENCES PHYSIQUES

U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES

*Durée : 2 heures**Coefficient : 2,5*

| | Durée conseillée |
|-----------------------|------------------|
| Chimie industrielle | 45 minutes |
| Physique industrielle | 1 h 15 |

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n°99-186, 16/11/1999).

Tout autre matériel est interdit.

Aucun document autorisé.

Documents à rendre avec la copie :

L'**ANNEXE 1** (pages 7/11, 8/11) et l'**ANNEXE 2** (pages 9/11, 10/11) sont fournies en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.



*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 11 pages, numérotées de 1/11 à 11/11.*

- **Chimie industrielle** : **page 2 à page 3**
- **Physique industrielle** : **page 4 à page 11**

CHIMIE INDUSTRIELLE

Premier exercice : Analyse de l'eau chaude sanitaire d'une piscine (11 points)

La qualité de l'eau chaude sanitaire d'une piscine dépend de trois paramètres : le pH, l'alcalinité et la dureté de l'eau. Ces paramètres ont une influence sur les phénomènes de corrosion et d'entartrage des canalisations, offrant ainsi un milieu particulièrement favorable au développement bactérien.

Données :

- $pK_{A1}(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-) = 6,4$; $pK_{A2}(\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}) = 10,3$
- Zone de virage du bromocrésol-rhodamine :

| Forme acide | Virage | Forme basique |
|-------------|---------|---------------|
| Jaune | 3,8-5,4 | Bleu |

- $M(\text{Ca}) = 40,1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$

Questions :

On réalise l'analyse de l'eau. La mesure de pH donne une valeur de 7,8.

1. La solution est-elle acide, neutre ou basique ? Justifier.
2. a. Sur un axe gradué en pH, placer les domaines de prédominance des espèces acides et basiques des deux couples suivants : $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$ et $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$.
b. Quelle est, dans ces conditions, l'espèce chimique responsable de l'alcalinité de l'eau chaude sanitaire de la piscine ?

Le T.A.C. (Titre alcalimétrique complet) est égal au volume (en mL) d'acide chlorhydrique à $0,02 \text{ mol.L}^{-1}$ nécessaire pour doser 100 mL d'eau en présence de bromocrésol-rhodamine (BCR).

Pour l'analyse de l'eau, on prélève un échantillon de 200 mL que l'on dose par de l'acide chlorhydrique à $0,02 \text{ mol.L}^{-1}$. Le volume à l'équivalence est de 16,4 mL.

3. a. Quelle est la couleur de l'indicateur coloré au début du dosage ? Justifier.
b. Comment voit-on que l'équivalence est atteinte ?
4. Déterminer le T.A.C. de cette eau.

La dureté de l'eau est mesurée par le titre hydrotimétrique D, exprimé en °TH, donné par la formule : $D = 10 ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$ où la concentration en ion calcium et en ion magnésium est exprimée en mmol.L^{-1} .

L'eau apportée pour la piscine possède une concentration massique en ions calcium de 70 mg.L^{-1} et de 18 mg.L^{-1} pour les ions magnésium.

5. Calculer la concentration molaire en ions calcium et magnésium en mol.L^{-1} puis en mmol.L^{-1} .
6. Calculer la dureté de l'eau et conclure à l'aide du tableau ci-dessous.

| | | | | | |
|----------------|------------|--------|------------------|---------|----------------|
| TH (°f) | 0 à 7 | 7 à 15 | 15 à 25 | 25 à 42 | supérieur à 42 |
| Eau | très douce | douce | moyennement dure | dure | très dure |

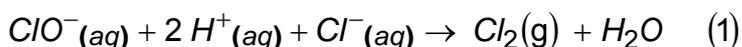
CAE3CI

Deuxième exercice : Utilisation d'eau de Javel (11 points)

Afin d'éviter la prolifération des bactéries, on utilise de l'eau de Javel. Les propriétés désinfectantes et bactéricides de l'eau de Javel sont liées au caractère oxydant des ions hypochlorites ClO^- . Pour des problèmes de conservation et de sécurité, on a choisi d'utiliser une eau de Javel à 2,6% soit un degré chlorométrique de 9°. En effet, l'eau de Javel dégage un gaz toxique au contact d'un acide : le dichlore $\text{Cl}_2(\text{g})$.

Données :

- Volume molaire à 25°C : $V_m = 24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Le **degré chlorométrique** de l'eau de Javel est le volume de dichlore $\text{Cl}_2(\text{g})$ en L que peut libérer un litre d'eau de Javel. *Exemple : Le degré chlorométrique de l'eau de Javel commerciale est de 48°, c'est-à-dire que 48 L de dichlore Cl_2 peuvent être libérés par 1L d'eau de Javel selon la réaction suivante :*



- 1 ppm (parties par million) : nombre de mL d'une espèce chimique présente dans un volume de 1 m³
- Effet du dichlore gazeux en fonction de la concentration exprimée en ppm :

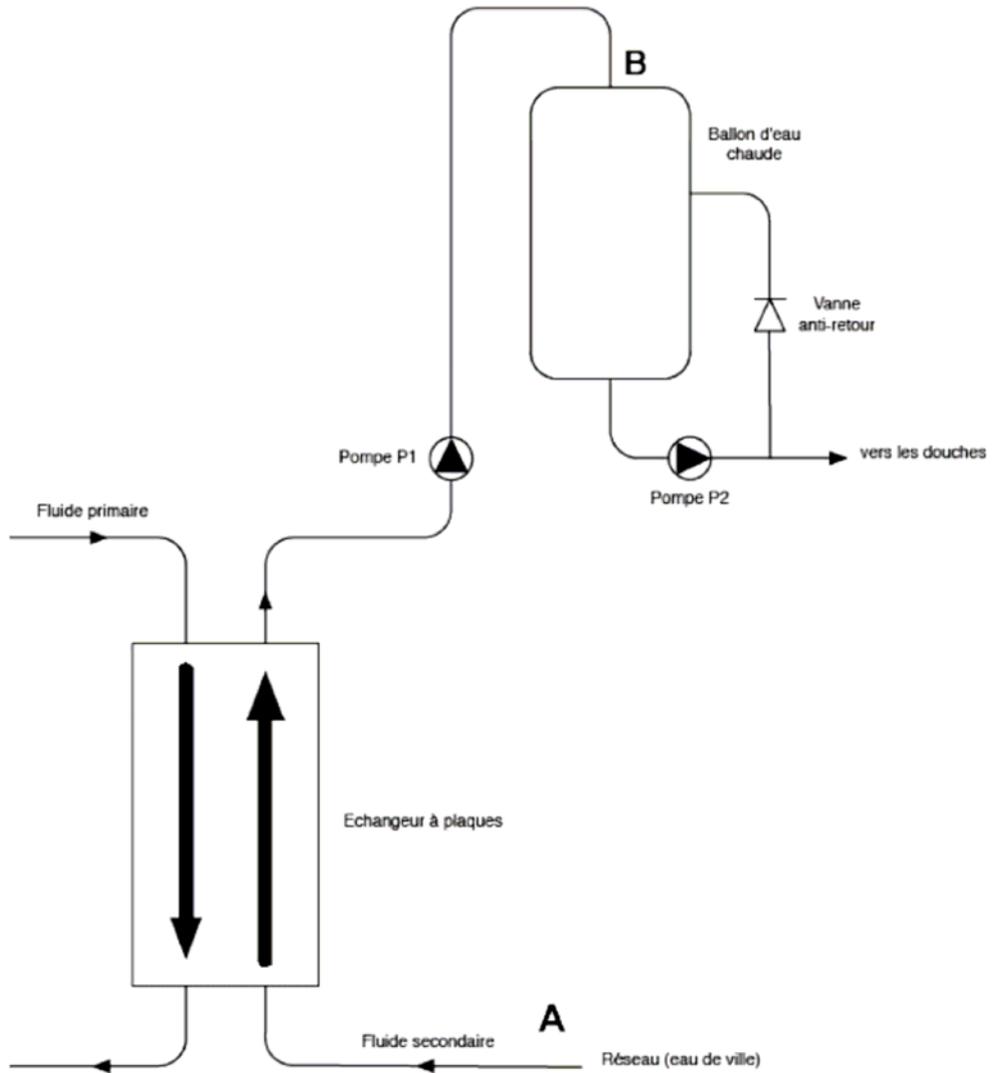
| Concentration du gaz en ppm | Effets |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 0,08 | Limite de détection olfactive. |
| 1 à 3 | Irritation des membranes muqueuses après une heure d'exposition. |
| 5 à 15 | Irritation modérée des voies respiratoires supérieures. |
| 10 | Danger immédiat pour la vie et la santé après 10 minutes d'exposition. |
| 30 | Douleurs immédiates à la poitrine, vomissements et toux. |
| 40 à 60 | Œdème pulmonaire et mort possible. |
| > 1000 | Mort par suffocation en quelques minutes. |

Questions :

1. Écrire la demi-équation d'oxydoréduction associée au couple Cl_2/Cl^- .
2. Compléter la demi-équation d'oxydoréduction associée au couple ClO^-/Cl_2 , en donnant les valeurs de a, b et c : $a \text{ClO}^- + b \text{H}^+(\text{aq}) + c \text{e}^- = \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}$
3. a. En supposant, qu'il y a réaction entre ClO^- et Cl^- , réécrire les demi-équations des réactions effectives d'oxydation et de réduction.
b. Vérifier alors que la réaction d'oxydoréduction qui a lieu par contact entre un acide et l'eau de Javel est bien donnée par l'équation (1).
4. La concentration molaire des ions hypochlorites est : $[\text{ClO}^-] = 0,375 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
a. À partir de l'équation de réaction (1), calculer la quantité de matière de dichlore gazeux $n(\text{Cl}_2)$ susceptible d'être dégagée par 1 L d'eau de javel.
b. Vérifier que le degré chlorométrique de l'eau de Javel utilisée est de 9°.
5. Cette eau de Javel à 9° chlorométrique est vendue par bidon de 5,0 L. Un des bidons est stocké dans un hall de surface S de 250 m² et de hauteur sous plafond h de 4,0 m.
a. Calculer le volume en mL de dichlore susceptible d'être dégagé par l'eau de Javel.
b. Calculer le volume en m³ du hall où est stocké ce bidon d'eau de Javel.
c. En déduire la concentration en ppm de dichlore susceptible d'être présent dans le hall et conclure sur le risque encouru.

PHYSIQUE INDUSTRIELLE

On veut étudier le circuit d'eau chaude sanitaire d'une piscine. L'eau chaude sanitaire de la piscine provient du réseau d'eau de ville. L'eau est amenée à la température de 55°C par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques à contre courant puis stockée dans un ballon d'eau chaude. Ce réservoir de stockage permet d'alimenter les différents points de puisage de la piscine (douches...).



Document 1 : Circuit d'eau chaude sanitaire de la piscine.

Données :

- Accélération de la pesanteur : $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$
- Pression atmosphérique : $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$
- Viscosité dynamique de l'eau : $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$
- Capacité calorifique de l'eau : $C = 4\,180 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Nombre de Reynolds : $\text{Re} = \frac{\rho v D}{\eta}$

- Perte de charge dans une conduite d'extrémités A et B : $\Delta H_{AB} = \frac{\lambda (L + \sum L_{eq}) v^2}{D \cdot 2g}$

- Puissance utile communiquée au fluide par une pompe : $P_{utile} = \rho g Q_v H_{pompe}$

CAE3CI

Les trois parties I, II et III sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

I. Étude de l'échangeur (11 points)

L'eau chaude primaire arrive à une température $\theta_1 = 75^\circ\text{C}$ avec un débit volumique Q_p égal à $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et ressort à une température θ_2 . Le circuit d'eau secondaire provient du réseau d'eau de ville. L'eau entre dans l'échangeur avec une température $\theta_3 = 10^\circ\text{C}$. Le cahier des charges indique que la température à la sortie de l'échangeur doit être $\theta_4 = 55^\circ\text{C}$ et le débit volumique Q_s doit être égal à $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. L'échangeur peut être considéré comme parfaitement adiabatique.

1. Compléter le schéma de l'échangeur **sur le document 1 de l'annexe 1 à rendre avec la copie** en indiquant les températures : θ_1 , θ_2 , θ_3 et θ_4 .
2. Montrer que la puissance P_f reçue par l'eau froide est de $313,5 \text{ kW}$.
3. a. En déduire, en justifiant, la puissance P_c fournie par l'eau chaude.
b. Calculer la température θ_2 de sortie du fluide primaire.

4. On rappelle l'expression de la différence de température moyenne logarithmique

$$\Delta\theta_{ml} = \frac{(\Delta\theta_e - \Delta\theta_s)}{\ln\left(\frac{\Delta\theta_e}{\Delta\theta_s}\right)}$$

Montrer que $\Delta\theta_{ml} = 33,3 \text{ }^\circ\text{C}$ avec $\Delta\theta_e$: différence de température d'entrée et $\Delta\theta_s$: différence de température de sortie en choisissant arbitrairement l'entrée et la sortie de l'échangeur à contre courant.

5. En déduire la surface de l'échangeur à plaques sachant que le coefficient global d'échange est $K = 1880 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

II. Étude du circuit secondaire (6 points)

Le branchement au réseau d'eau de ville se fait au point A et lorsque le volume d'eau du réservoir de stockage (ballon d'eau chaude) atteint une valeur minimum, la pompe P_1 se met en marche jusqu'à un volume maximum où elle s'arrête. On rappelle que quand la pompe P_1 est active, le débit volumique Q_s est égal à $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.

1. La canalisation du circuit secondaire a pour diamètre $D = 5 \text{ cm}$. Calculer la vitesse de l'eau dans cette canalisation. Dans la suite de l'énoncé on prendra $v = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
2. Calculer le nombre de Reynolds Re associé à cet écoulement.
3. En déduire la nature de l'écoulement.
4. Sachant que la rugosité de la canalisation est $\varepsilon = 0,5 \text{ mm}$, déterminer graphiquement **à l'aide des abaques de Colebrook fournies en annexe 2**, le coefficient de perte de charge λ pour cet écoulement. Placer le point représentant cet écoulement sur ce diagramme, **en annexe 2 à rendre avec la copie**.

III. Dimensionnement de la pompe P1 (11 points)

Il faut que la pompe P_1 permette de répondre aux conditions de fonctionnement énoncées précédemment.

Données :

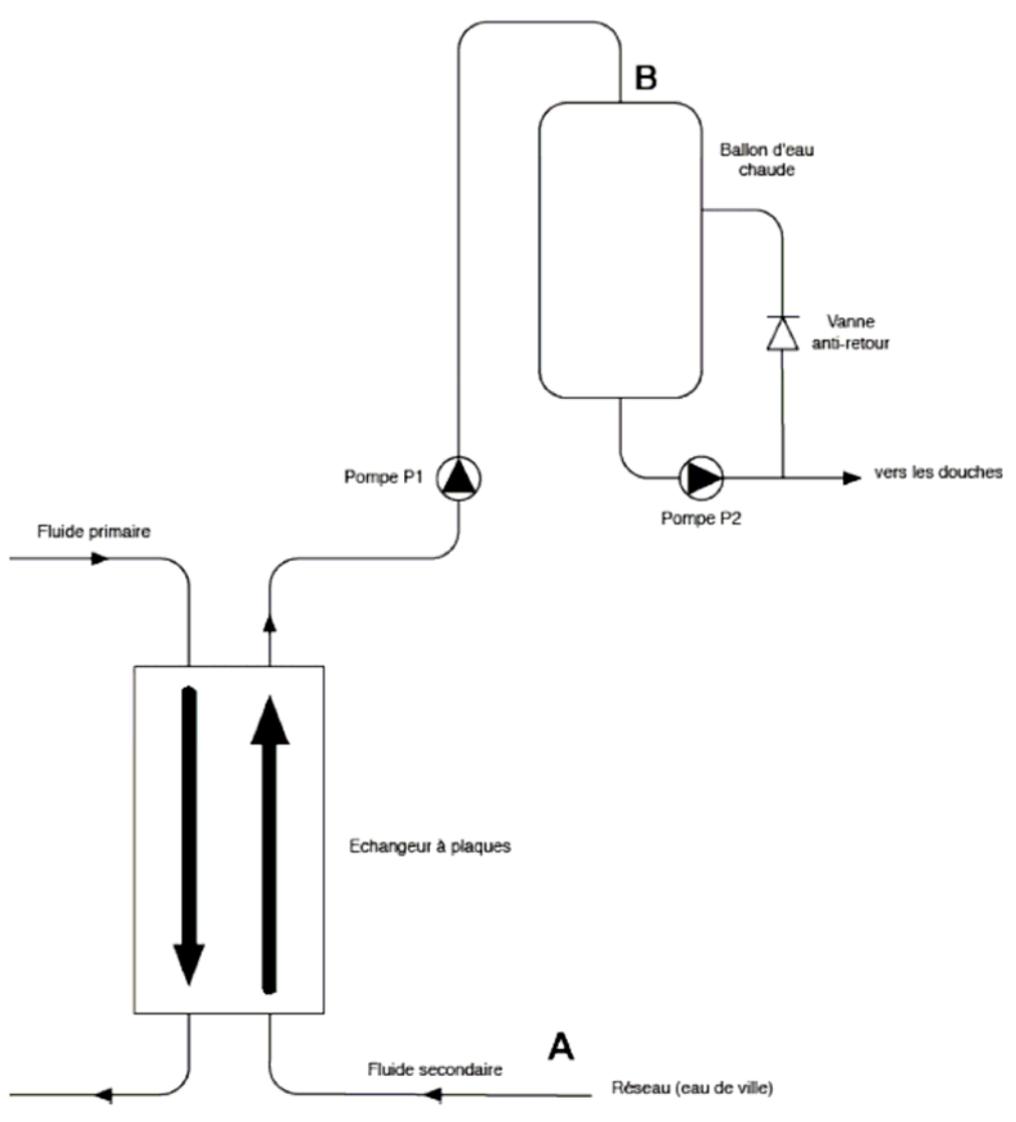
- La longueur de tuyauterie de A à B est $L = 50$ m.
- L'échangeur crée une perte de charge égale à une longueur équivalente $L_1 = 100$ m.
- Chaque coude crée une perte de charge égale à une longueur équivalente $L_2 = 2$ m.
- La dénivellation entre A et B est de 20 m.
- La pression au point B est égale à la pression atmosphérique que l'on peut prendre égale à $p_B = 1$ bar.
- La pression au point A est celle du réseau $p_A = 2,5$ bar.

Dans la suite de l'énoncé on prendra : $v = 0,8$ m.s⁻¹ et $\lambda = 0,04$.

1. Calculer la perte de charge totale ΔH_{AB} du circuit entre les points A et B.
2. En appliquant le théorème de Bernoulli entre les points A et B, calculer la hauteur manométrique H_{pompe} de la pompe P_1 .
On prendra la hauteur H_{pompe} de 40 m dans la suite de l'énoncé.
3. En déduire la puissance mécanique reçue par le fluide.
4. La pompe a un rendement de 70%. Quelle sera la puissance absorbée par le moteur de la pompe ?
5. En utilisant les caractéristiques de la pompe fournies **en annexe 3**, déterminer le NPSH requis (Net Power Suction Head).
6. Quel doit être la condition sur le NPSH disponible du circuit pour éviter le phénomène de cavitation ?

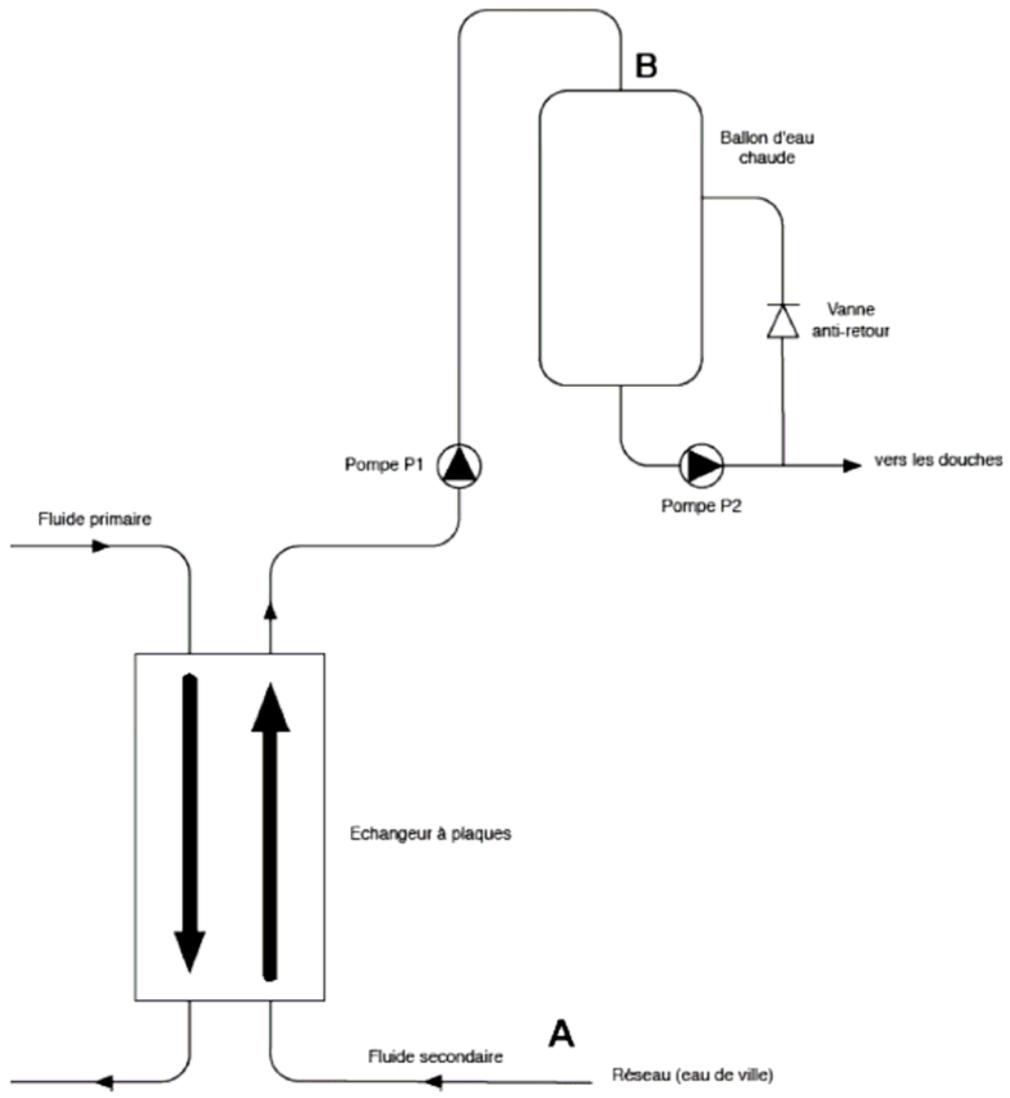
Exemplaire pouvant servir de brouillon

Annexe 1 : Document 1

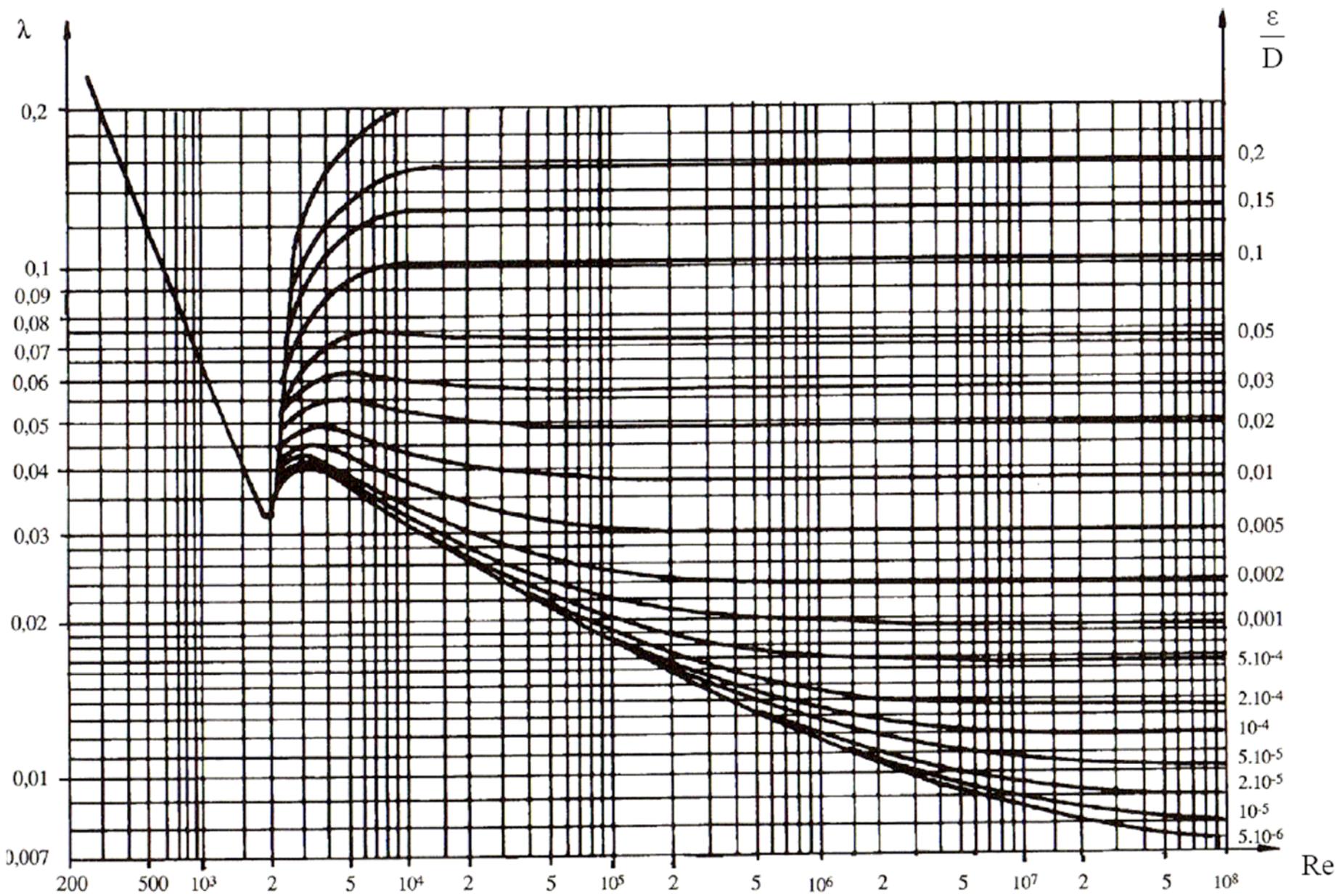


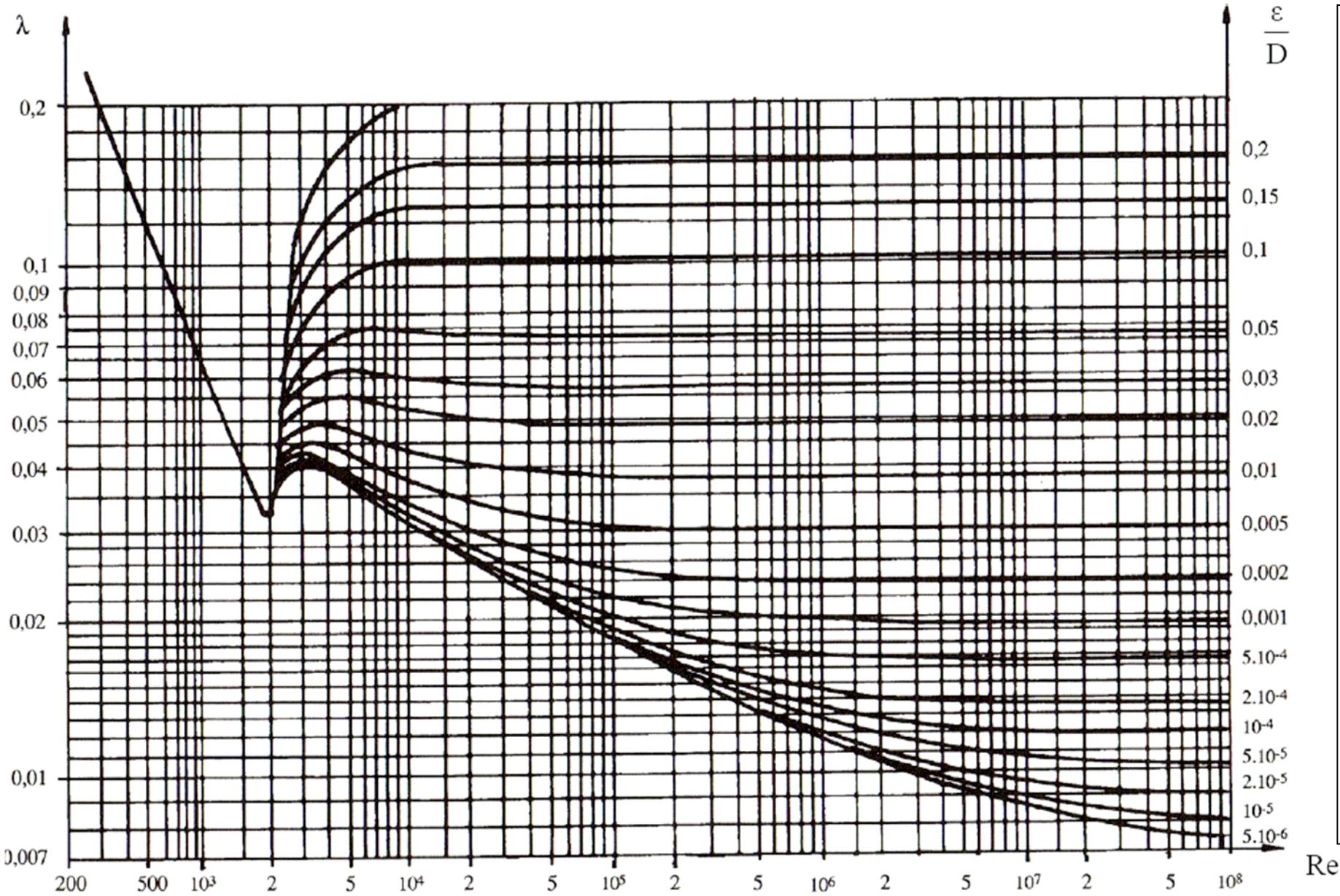
Exemplaire à rendre avec la copie

Annexe 1 : Document 1



Annexe 2 : Abaques de Colebrook





Annexe 3 : Détermination du NPSH requis de la pompe à l'aide des données fournies par le constructeur

