

## BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**
**SCIENCES PHYSIQUES**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

**Chimie-Physique industrielles U-31**

*Durée : 2 heures*

*Coefficient : 2,5*

**Durée conseillée**

**Physique industrielle**

**1 h 15**

**Chimie industrielle**

**45 minutes**

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.*

- *Chimie industrielle* : page 1 à page 2
- *Physique industrielle* : page 3 à page 12

**ATTENTION : Les documents 2, 3 et 5 sont fournis en double exemplaire dont un seul sera à rendre avec la copie.**

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

***Aucun document autorisé.***

***Calculatrice réglementaire autorisée.***

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

**Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.**

# CHIMIE INDUSTRIELLE

Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), provenant de la combustion des combustibles fossiles (charbons, gaz naturels, dérivés du pétrole comme le fioul lourd par exemple) et des rejets de l'industrie chimique, est un des polluants atmosphériques responsables des pluies acides.

Mais le dioxyde de soufre est également un intermédiaire chimique industriel important utilisé par exemple dans la synthèse de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

## Premier exercice : le dioxyde de soufre un polluant atmosphérique

Pour lutter contre cette pollution on peut agir de manière préventive en diminuant la teneur en soufre des produits pétroliers mais aussi de manière curative en traitant les effluents (fumées et rejets industriels) avant leur libération à l'atmosphère.

### Contrôle chimique de la teneur en $\text{SO}_2$ (gaz) dans un effluent gazeux d'une cheminée.

Le dioxyde de soufre étant très soluble dans l'eau on fait barboter lentement un volume de  $0,1 \text{ m}^3$  d'air, prélevé à proximité de la sortie de la cheminée, dans  $50 \text{ mL}$  d'eau distillée de façon à obtenir  $50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse incolore de dioxyde de soufre.

On réalise un dosage d'oxydoréduction de cette préparation par une solution acidifiée de permanganate de potassium ( $\text{K}^+$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ) de couleur violette et de concentration molaire volumique  $C_1 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Le volume de la solution de permanganate de potassium nécessaire pour obtenir l'équivalence est  $V_{1\text{eq}} = 12 \text{ mL}$ .

1- On rappelle que pour le couple  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$  la demi-équation électronique correspondante s'écrit :



Écrire pour l'autre couple intervenant (voir les données) la demi-équation électronique correspondante.

2- Écrire l'équation globale d'oxydoréduction intervenant au cours de ce dosage en justifiant son sens.

3- Expliquer le changement de couleur qui permet de repérer l'équivalence.

Quel est le nombre de moles d'ions permanganate contenus dans les  $12 \text{ mL}$  utilisés pour obtenir l'équivalence ?

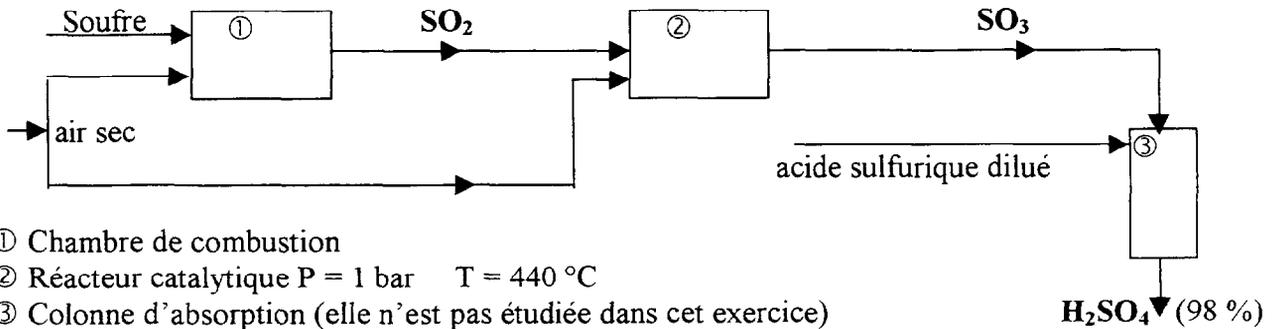
4- En déduire le nombre de moles de dioxyde de soufre dans les  $50 \text{ mL}$  de solution préparée puis vérifier que l'effluent gazeux analysé contient  $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ mole}$  de  $\text{SO}_2$  par  $\text{m}^3$ .

5- Sachant que les normes de la CEE fixent une teneur massique en  $\text{SO}_2$  de  $250 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , comparer cette valeur à la teneur massique en  $\text{SO}_2$  de l'effluent. Conclure.

**Données** : Potentiels standard  $E^\circ$  en V :  $\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_2$  : 0,17       $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$  : 1,51  
(violet) / (incolore)

Masses molaires atomiques en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  : S = 32      O = 16

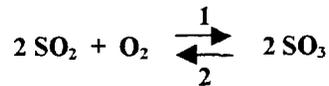
**Deuxième exercice : le dioxyde de soufre dans la synthèse de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**



- ① Chambre de combustion
- ② Réacteur catalytique P = 1 bar T = 440 °C
- ③ Colonne d'absorption (elle n'est pas étudiée dans cet exercice)

**Schéma simplifié de la synthèse de l'acide sulfurique**

- ① Chambre de combustion : préparation du dioxyde de soufre.
- ② Réacteur catalytique : préparation du trioxyde de soufre.  
Dans ce réacteur s'établit l'équilibre en phase gazeuse suivant :



Bien que dans la synthèse industrielle le diazote de l'air soit présent dans le mélange nous négligerons son influence dans l'étude de cet équilibre.

- 1- Écrire l'équation de la combustion du soufre dans le dioxygène.
- 2- Montrer que la réaction de préparation du trioxyde de soufre, dans le sens 1, est exothermique en calculant la variation d'enthalpie correspondante  $\Delta H^\circ_1$  à 25 °C  
**Données :** Enthalpies standards de formation à 25 °C  
 $\Delta H^\circ_{f(\text{SO}_2)} = -295 \text{ kJ.mol}^{-1}$  et  $\Delta H^\circ_{f(\text{SO}_3)} = -395 \text{ kJ.mol}^{-1}$
- 3- Quelle est l'influence d'une élévation de température sur le rendement de cet équilibre ?  
Quelle est l'influence d'une élévation de température sur la vitesse de cette réaction ?  
Vos deux conclusions vont-elles dans le même sens ?
- 4- A la température maintenue constante au cours de la synthèse de SO<sub>3</sub> (440 °C) la vitesse de la réaction n'est pas suffisante mais pour maintenir un bon rendement on ne peut pas augmenter la température. C'est pourquoi on utilise un catalyseur à base d'oxyde de vanadium.  
Quel est le rôle essentiel d'un catalyseur ? Modifie-t-il le rendement de l'équilibre ?
- 5- Donner l'expression de la constante d'équilibre K<sub>p</sub> de cet équilibre en fonction des pressions partielles puis son expression en fonction des fractions molaires et de la pression totale.

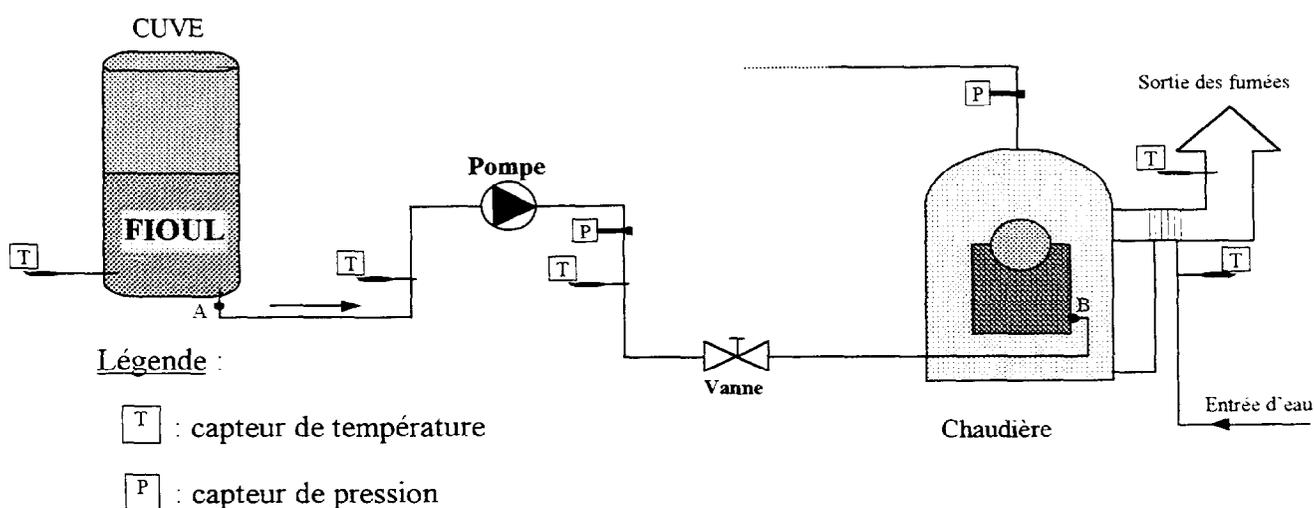
# PHYSIQUE INDUSTRIELLE

## ON PRÉCISE QUE LES PARTIES A ET B PEUVENT ÊTRE TRAITÉES INDÉPENDEMMENT L'UNE DE L'AUTRE

On veut étudier une installation de chauffage industrielle constituée de 5 chaudières dont les rôles sont différents.

Dans cette étude, on s'intéressera uniquement à une des chaudières à vapeur.

On donne sur le **document n° 1** le schéma de principe de l'installation simplifiée.



**Document 1 : schéma de l'installation**

La chaudière est alimentée en fioul lourd, stocké dans une cuve cylindrique d'une capacité de  $900 \text{ m}^3$ . Il est acheminé vers les chaudières par une pompe centrifuge à travers une conduite de diamètre  $D = 65 \text{ mm}$ .

Pendant son transfert il traverse un échangeur à plaques (non représenté sur le schéma) qui élève la température jusqu'à  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Cette opération est nécessaire car elle augmente considérablement la fluidité du fioul, évitant des problèmes liés à une trop forte viscosité lors de l'acheminement dans la conduite et l'injection dans le brûleur.

La viscosité cinématique moyenne du fioul à la température de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  est égale à  $\nu = 45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , sa masse volumique  $\rho = 883 \text{ kg/m}^3$

Pour alimenter une telle installation, le débit volumique nécessaire est de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$

La pression en A est à un instant donné égale à  $P_A = 1,6 \text{ bar}$ .

La pression en B au niveau de l'injecteur à plein régime est quant à elle égale à  $P_B = 20 \text{ bar}$ .

**PARTIE A : ÉTUDE DU RÉSEAU FIOUL LOURD**

- 1°) Calculez la vitesse du fioul dans la conduite d'alimentation.
- 2°) Montrez que le nombre de Reynolds de l'écoulement vaut environ 145.
- 3°) Précisez la nature de cet écoulement.
- 4°) Calculez le coefficient de pertes de charge linéaires  $\lambda$  pour cet écoulement.
- 5°) A partir du **document 2 (pages 7 et 8)** retrouvez, les longueurs équivalentes de conduite droites  $L_{eq}$  associées à l'ensemble des coudes de courbure moyenne à 90° et à une vanne à passage direct toute ouverte.
- 6°) Si la longueur réelle de tuyauterie de l'installation est  $L = 60$  m, calculez les pertes de charge totales associées à la circulation du fluide.  
Rappel : L'expression des pertes de charges est donnée par la relation :
$$|J_{tot}| = \lambda (L + \Sigma L_{eq}) \cdot v^2 / (2gD)$$
- 7°) Par application du théorème de Bernoulli généralisé entre les points A et B, d'altitude  $Z_A$  et  $Z_B$ , déterminez la hauteur manométrique  $H_P$  que doit fournir la pompe.  
Proposez un choix de pompe à l'aide du **document 3 (pages 9 et 10)** ci-joint.
- 8°) En déduire la puissance utile fournie par cette dernière.

Autres données :

- On prendra  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- On admettra que  $Z_B = Z_A$
- On rappelle que pour un régime laminaire  $\lambda = 64/Re$

**PARTIE B : ÉTUDE DU RÉSEAU VAPEUR**

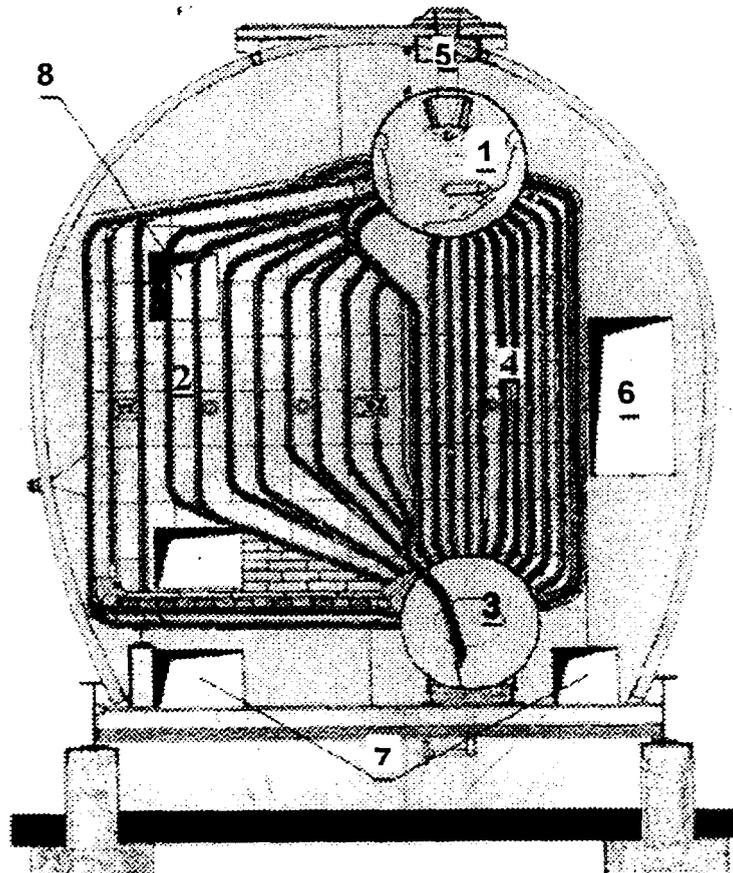
L'eau liquide est injectée dans le ballon supérieur (repère 1), puis circule à travers des tubes (rep. 2) jusqu'au ballon inférieur (rep. 3). L'eau passe de nouveau dans des tubes (rep. 4) pour rejoindre le ballon supérieur et se transformer à sa sortie en vapeur.

Les tubes sont placés dans le foyer de combustion afin d'être en contact direct avec la source de chaleur créée par le brûleur et ainsi faire bouillir l'eau pour produire de la vapeur.

Les bouches (rep. 6 et 7) permettent d'évacuer les fumées produites par la combustion.

**En cas de surchauffe dans le foyer, une soupape de sécurité (rep. 8) permet l'évacuation de la vapeur sous pression.**

**Document 4 : vue en coupe d'une chaudière vapeur**



1°) Dans le régime normal de fonctionnement de la chaudière, l'eau qui entre dans la chaudière est vaporisée de façon isobare sous une pression de 6 bar.  
Elle ressort de la chaudière à l'état de vapeur saturante sèche (**document 4**).  
Sur le diagramme de Mollier (**document 5, pages 11 et 12**) à rendre avec la copie, placer le point D correspondant à la vapeur en sortie de chaudière et préciser la température  $T_D$ . Justifier.

2°) Une sécurité placée sur le dispositif vapeur permet en cas de surpression d'évacuer la vapeur dans l'atmosphère, la pression seuil d'ouverture de la soupape est tarée à  $P_s = 10$  bar.

Pour tester ce dispositif on bloque la vapeur dans la chaudière et on maintient le chauffage, la transformation peut alors être considérée comme isochore.

**La vapeur d'eau est assimilée à un gaz parfait.**

Montrez que dans ces conditions la température  $T_s$  de cette dernière, au moment de l'ouverture de la soupape est voisine de 450 °C.

3°) Placez le point S sur le diagramme de Mollier.

La soupape peut-être assimilée à une tuyère convergente, la pression critique au niveau du col est donnée par la formule

$$P_C = P_s (2/(\gamma+1))^{\gamma/\gamma-1}$$

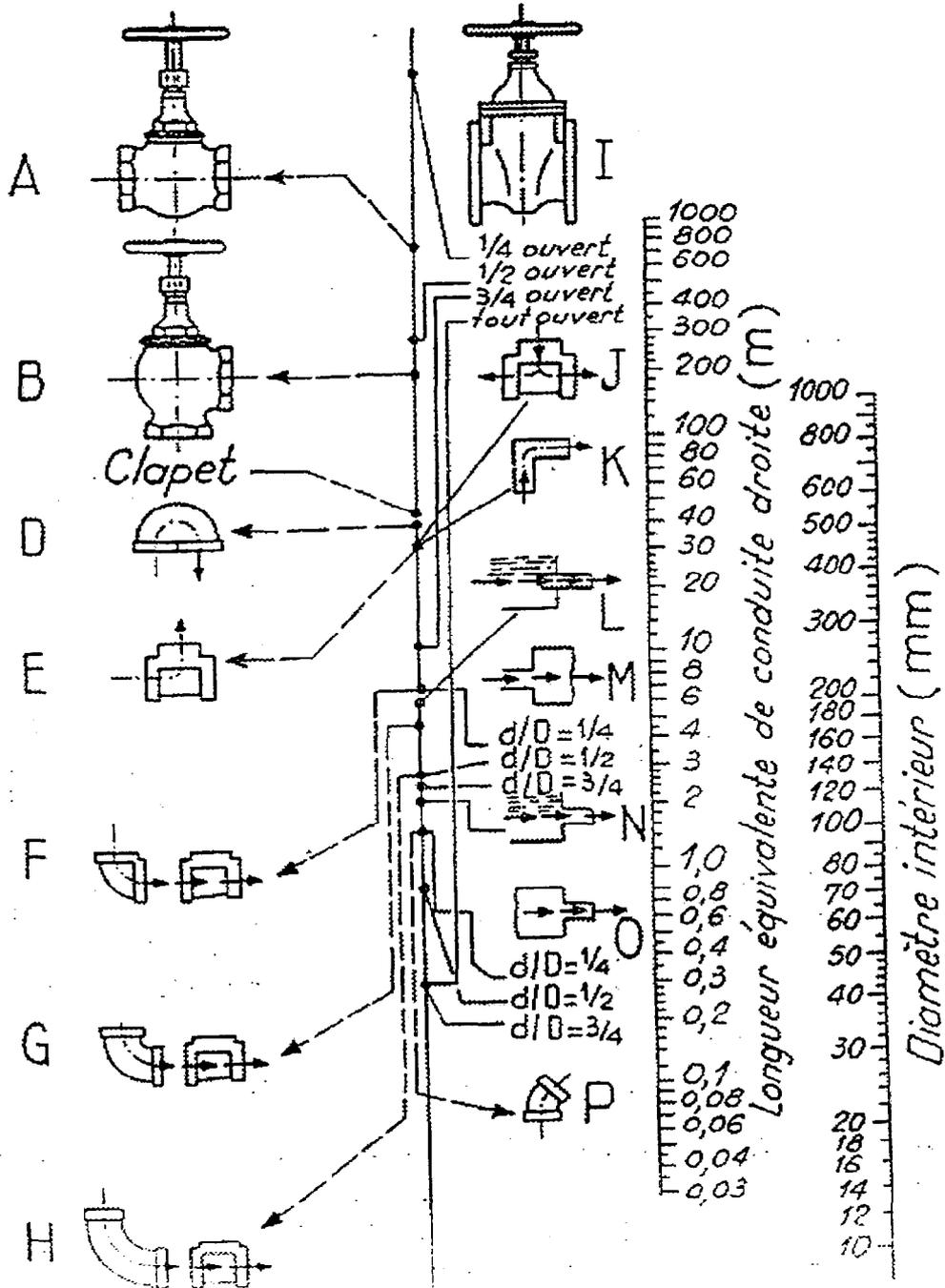
Pour cette question on donne  $\gamma = 1,22$ .

Calculez  $P_C$ .

4°) Si l'on admet que la détente est isentropique, placez le point E sur le diagramme de Mollier, en déduire l'état de la vapeur en fin de transformation (nature, température).

**Exemplaire pouvant servir de BROUILLON**

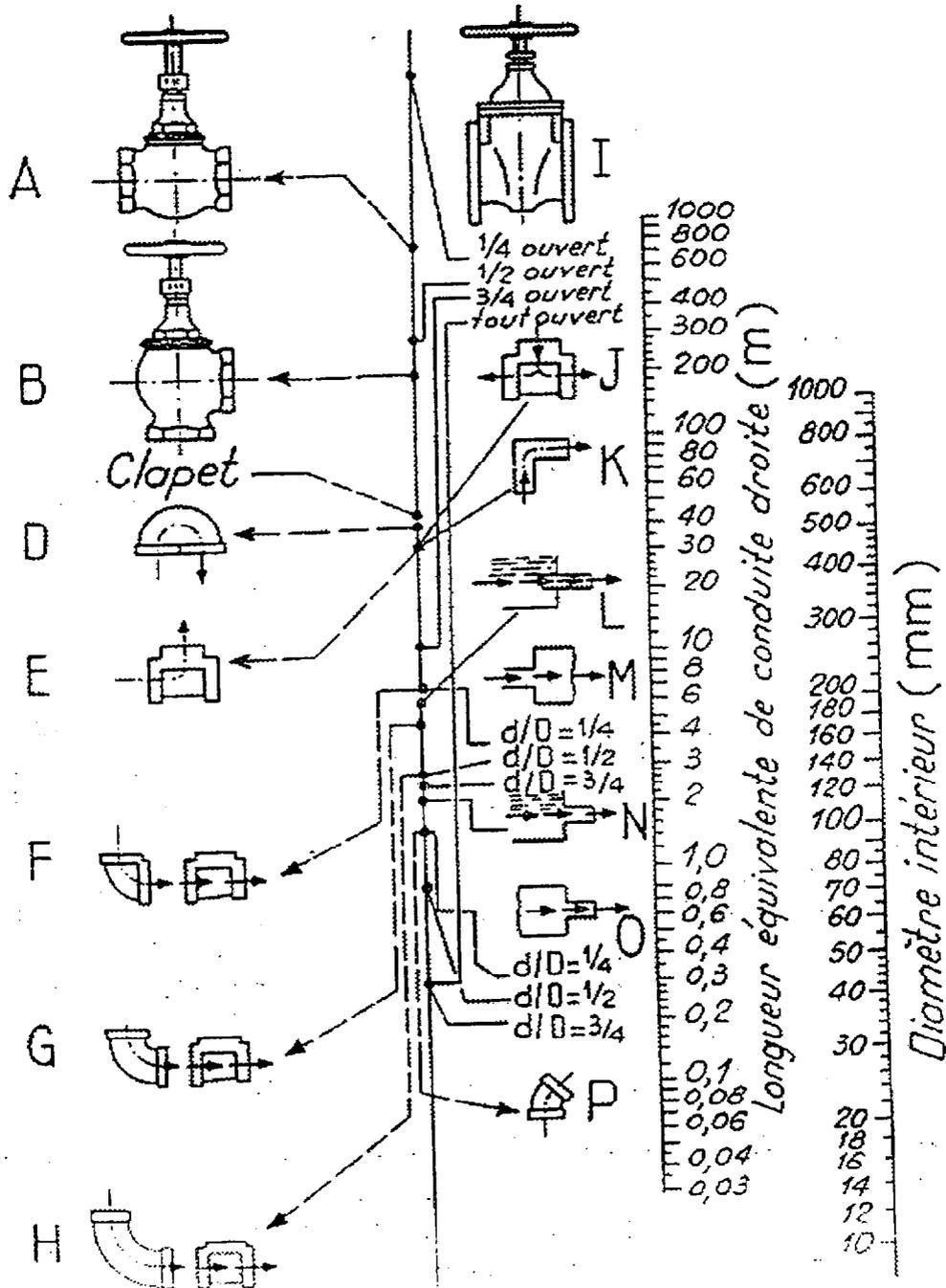
**Document 2 : Équivalences des pertes de charge en longueurs droites de conduites**



- |                                      |  |                          |
|--------------------------------------|--|--------------------------|
| A robinet droit ouvert               | F coude court à 90° ou té conique ½  | L ajutage rentrant       |
| B robinet d'équerre ouvert           | G coude de courbure moyenne à 90°  | M élargissement brusque  |
| C clapet de retenue à battant ouvert | H coude de grande courbure à 90° ou té normal                              | N ajutage ordinaire      |
| D coude à 180°                       | J té   | O rétrécissement brusque |
| E té fermé d'un côté                 | K équerre  | P coude court à 45°      |
|                                      | I vanne à passage direct ( <u>ouvertures variables indiquées dessous</u> ) |                          |

**A RENDRE AVEC LA COPIE**

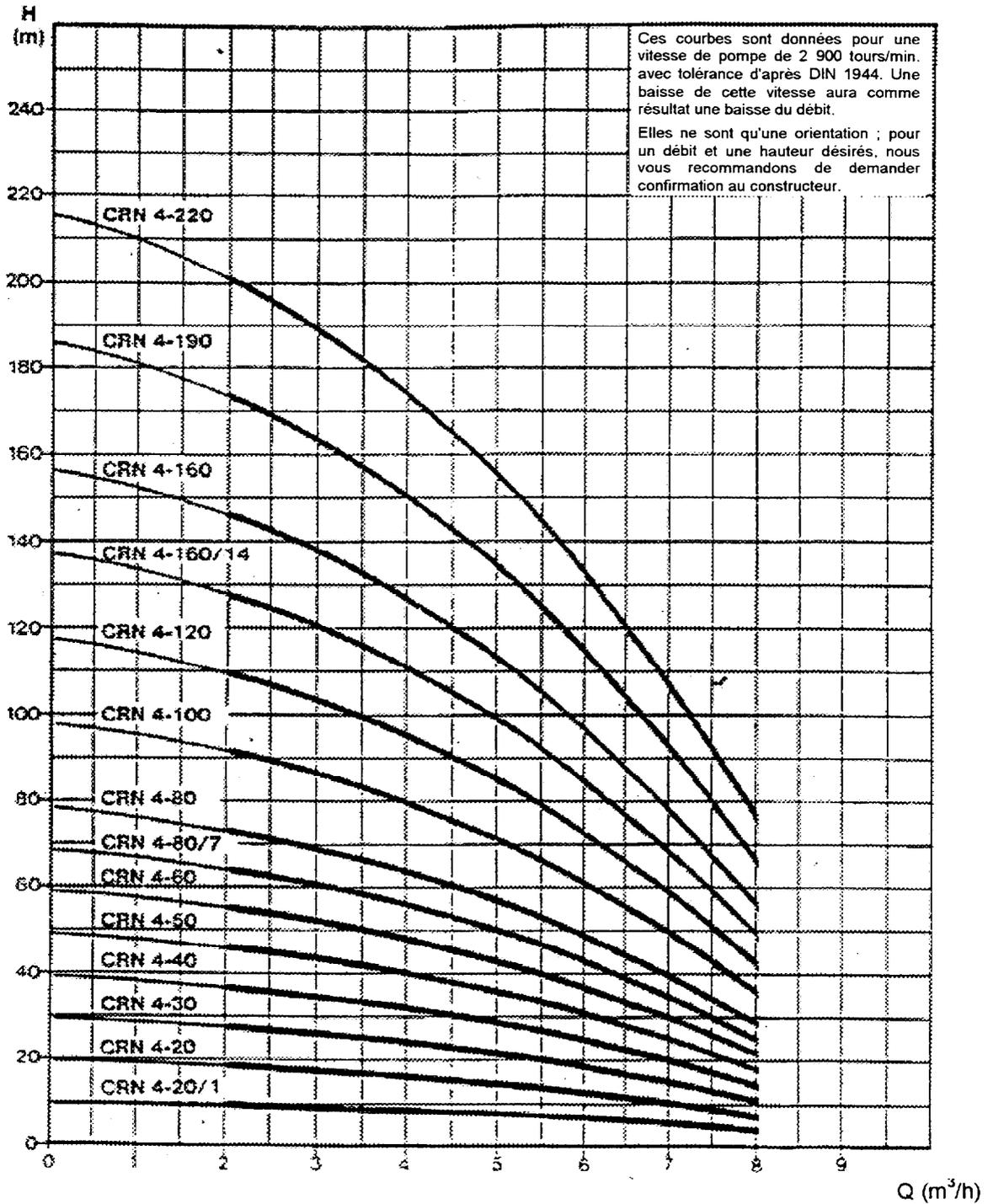
**Document 2 : Équivalences des pertes de charge en longueurs droites de conduites**

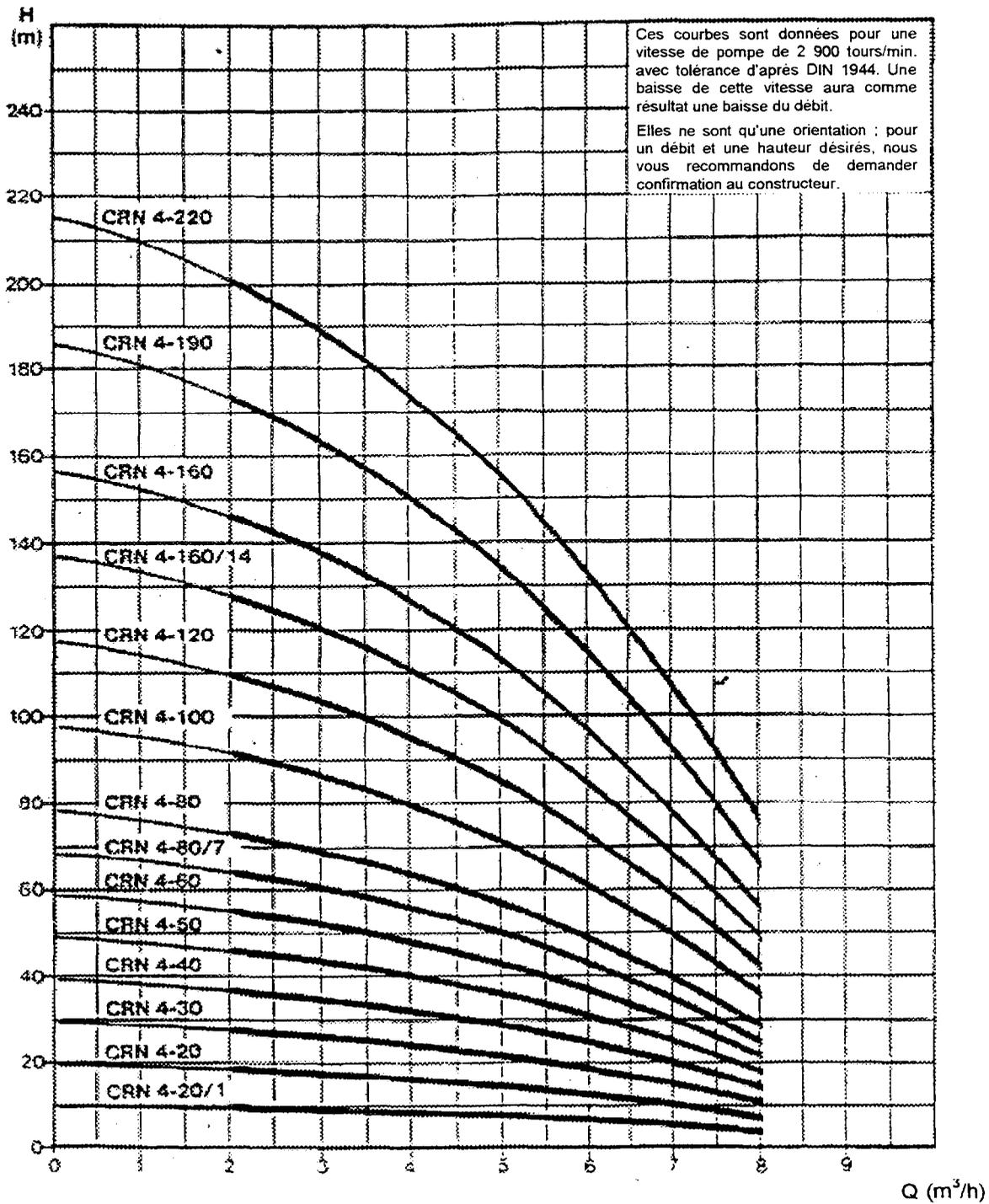


- |                                      |  |                          |
|--------------------------------------|--|--------------------------|
| A robinet droit ouvert               | F coude court à 90° ou té conique 1/2                                      | L ajutage rentrant       |
| B robinet d'équerre ouvert           | G coude de courbure moyenne à 90°  | M élargissement brusque  |
| C clapet de retenue à battant ouvert | H coude de grande courbure à 90° ou té normal                              | N ajutage ordinaire      |
| D coude à 180°                       | J té   | O rétrécissement brusque |
| E té fermé d'un côté                 | K équerre  | P coude court à 45°      |
|                                      | I vanne à passage direct ( <u>ouvertures variables indiquées dessous</u> ) |                          |

Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

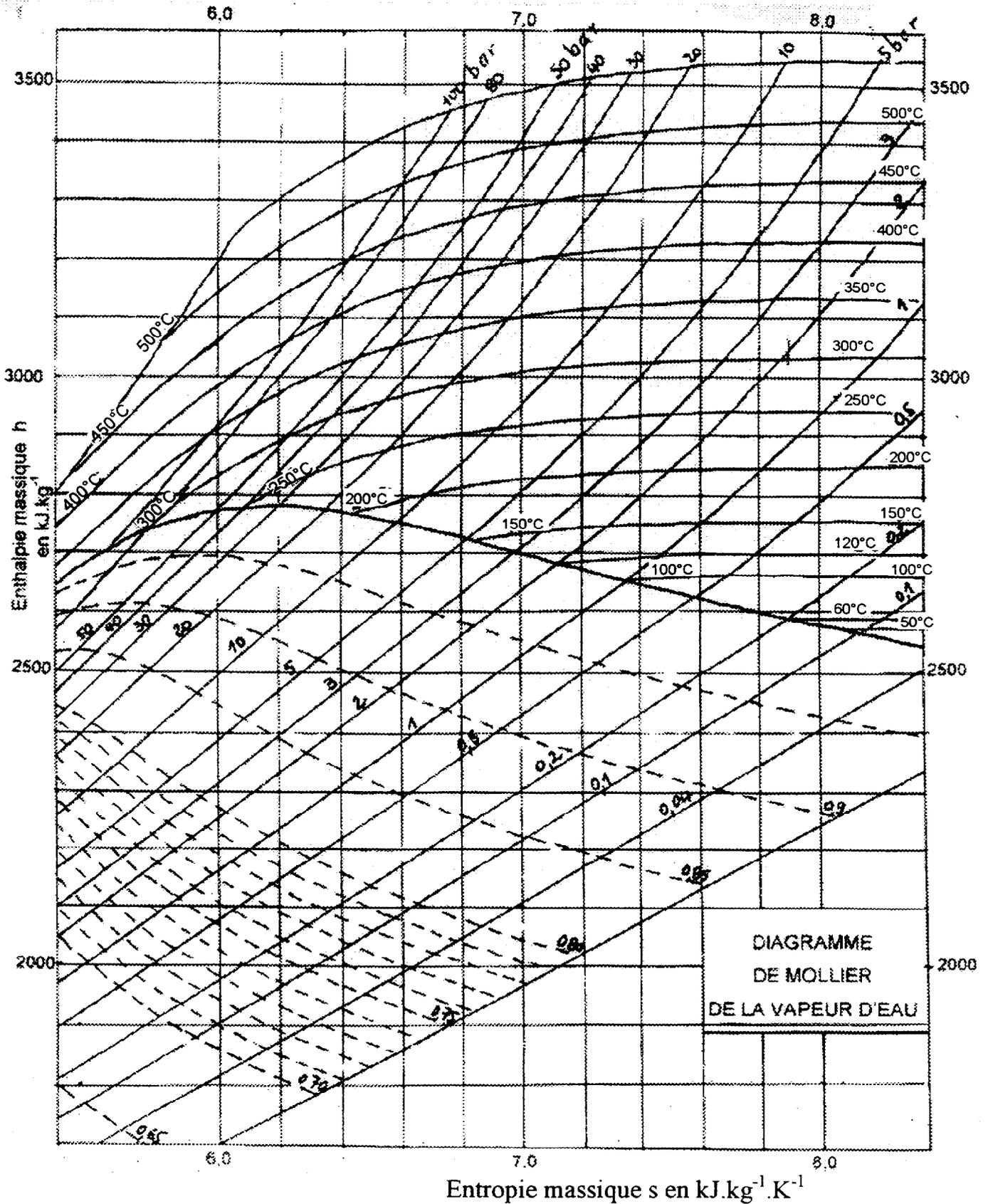
Document 3 : Caractéristiques  $H = f(Q)$  de différentes pompes



A RENDRE AVEC LA COPIEDocument 3 : Caractéristiques  $H = f(Q)$  de différentes pompes

Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

**Document 5 : Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau**



A RENDRE AVEC LA COPIE

**Document 5 : Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau**

