

# BTS MÉTIERS DE L'EAU

## ÉTUDE DE CAS – U. 61

SESSION 2007

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

**Matériel autorisé :**

- calculatrice conformément à la circulaire N°99-186 du 16/11/1999

**L'usage des documents personnels est interdit.**

● **INSTRUCTIONS DESTINÉES AUX CANDIDATS :**

- Le sujet comprend trois parties :

1<sup>ère</sup> partie : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**.....(page 2 à 4/16)

Annexes 1, 2, 3 et 5

Durée conseillée : 2 heures

2<sup>ème</sup> partie : **RÉGULATION**.....(page 4/16)

Annexes 4, 6 et 7

**AUTOMATISME**.....(page 4 à 5/16)

Annexe 8

**ÉLECTROTECHNIQUE**.....(page 5 à 6/16)

Durée conseillée : 1 h 15 min.

3<sup>ème</sup> partie : **HYDRAULIQUE**.....(page 6/16)

Annexes 9 et 10

Durée conseillée : 45 min.

- Chaque partie sera rédigée sur une copie différente.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet comporte 16 pages, numérotées de 1/16 à 16/16.

BTS MÉTIERS DE L'EAU		Session 2007
Étude de cas – U. 61	MTE6EDC	Page : 1/16

## **Élimination des micropolluants**

*Les activités humaines sont à l'origine de rejet dans l'environnement de substances organiques très peu biodégradables : les micropolluants ou POPs (polluants organiques persistants) dont la toxicité pour l'homme et l'environnement commence à être bien connue.*

*Les POPs sont des additifs utilisés dans diverses productions, des substances médicamenteuses ou des molécules issues de leur métabolisation et bien évidemment les pesticides.*

*La réglementation de la production d'eau potable montre, au fil des décrets, une sévérité de plus en plus grande : mise en cause de nouvelles substances, abaissement des valeurs maximales admissibles...*

*Les opérateurs ont donc été amenés à développer des traitements de l'eau de plus en plus efficaces.*

Une usine traite l'eau d'un champ captant, chargée en pesticides et autres micropolluants, ce qui impose un traitement d'affinage par ozonation et filtration sur charbon actif en grain (CAG). Le schéma de la filière de traitement installée dans les années 80 est présenté dans le **document 1 de l'annexe 1 (page 7/16)**.

### **P1. Étude de l'étape d'ozonation (15 points)**

P1.1 **Dégager** succinctement l'intérêt du couplage ozonation - filtration sur CAG, en expliquant pourquoi il est souvent désigné par "oxydation biologique".

P1.2 Le **document 2 de l'annexe 1 (page 7/16)** présente la filière de production d'ozone.

P1.2.1 **Justifier** l'assèchement de l'air.

**Définir** le point de rosée.

P1.2.2 **Citer** les dangers liés à la production et à l'utilisation de l'ozone.

**Donner** deux exemples de règles de sécurité à respecter.

P1.2.3 Dans les conditions suivantes et dans les conditions normales de température et de pression, **calculer** le volume horaire (ou débit-volume) d'air à injecter dans l'ozoneur :

- taux de traitement en ozone de  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  dans les bassins d'ozonation ;
- rendement de conversion des ozoneurs : 5% en volume d'ozone produit par volume de dioxygène entrant ;
- teneur de l'air en oxygène : 20% en volume ;
- masse volumique de l'ozone est de  $2,14 \text{ g.L}^{-1}$ .

P1.3 L'efficacité de l'ozonation dépend du temps de contact entre l'ozone et l'eau à traiter.

P1.3.1 **Calculer** la vitesse de déplacement des bulles d'ozone pour que leur temps de contact avec l'eau du bassin d'ozonation soit de 4 minutes.

<b>BTS MÉTIERS DE L'EAU</b>		<b>Session 2007</b>
<b>Étude de cas – U. 61</b>	<b>MTE6EDC</b>	<b>Page : 2/16</b>

P1.3.2 En utilisant la formule de Stokes donnée dans le **document 3 de l'annexe 1 (page 7/16)** et lorsque le diamètre moyen de bulles est de 2 mm, **calculer** la vitesse ascensionnelle théorique de celles-ci.

P1.3.3 **Comparer** ces deux vitesses et conclure quant à l'incidence du mouvement de l'eau.

## **P2. Adsorption lors de la filtration sur lit de CAG (8 points)**

P2.1 **Expliquer** en quoi le charbon actif constitue un excellent adsorbant.

**Citer** les étapes de sa préparation en précisant à quel moment il acquiert ces caractéristiques.

P2.2 À l'aide des données des **documents 4 et 5 de l'annexe 2 (page 8/16)**, **calculer** :

- la perte de charge avant lavage ;
- le débit maximal admissible sur le filtre ;
- la masse de charbon introduite par filtre ;
- la surface spécifique développée par la totalité du filtre.

## **P3. Le procédé CRISTAL (17 points)**

La dégradation progressive de la qualité de l'eau et la nécessité de réhabiliter la filière a amené à mettre en place le procédé CRISTAL, qui associe l'adsorption sur charbon actif en poudre (CAP) et l'ultrafiltration tangentielle par fibres creuses à peau interne.

**L'annexe 3 (page 9/16)** donne la nouvelle filière de traitement et rassemble les informations techniques du procédé CRISTAL.

P3.1 **Schématiser** le chemin de l'eau dans une fibre.

**Préciser** la nature et la taille des molécules et particules retenues par le procédé d'ultrafiltration.

**Préciser** l'intérêt du couplage ultrafiltration et adsorption sur CAP.

P3.2 En utilisant les résultats d'essais préliminaires présentés dans **l'annexe 5 (page 10/16)** **choisir** le charbon le mieux adapté au procédé. **Justifier** ce choix.

P3.3 À l'aide de **l'annexe 3 (page 9/16)**, **calculer** le débit de la pompe d'injection de la suspension de CAP pour avoir un taux de traitement de 5 mg de CAP par litre d'eau brute.

P3.4 En utilisant **l'annexe 3** **déterminer** :

- le taux de conversion au niveau de l'installation et le taux de conversion au niveau de la membrane ; **commenter** ;
- la vitesse de passage du perméat à travers la membrane.

P3.5 **Montrer** que la concentration en CAP dans les fibres dépasse  $1,5 \text{ g.L}^{-1}$  au moment de la mise en route des lavages.

P3.6 **Calculer** la perte quotidienne d'eau entraînée par les lavages et la consommation journalière de CAP.

<b>BTS MÉTIERS DE L'EAU</b>		<b>Session 2007</b>
<b>Étude de cas – U. 61</b>	<b>MTE6EDC</b>	<b>Page : 3/16</b>

P3.7 Le procédé CRISTAL permet de réduire le taux de chloration dans le réseau de distribution. **Expliquer** pourquoi.

## **2ème PARTIE : RÉGULATION - AUTOMATISME - ÉLECTROTECHNIQUE (25 points)**

### **RÉGULATION : étude de la régulation de débit des filtres à charbon actif (8 points)**

On contrôle le colmatage du filtre par une mesure de la différence de pression de ce dernier. L'eau brute arrive par PV1 et rejoint le filtre par PV2.

**R1.** À l'aide de **l'annexe 4 (page 9/16)** :

R1.1 **Préciser** le rôle du régulateur de pression.

R1.2 **Donner** la signification de OPMA et FPMA en ce qui concerne une vanne.

R1.3 **Justifier**, dans un contexte de sécurité, si les vannes PV1 et PV2 doivent être OPMA ou FPMA.

**R2.** On s'intéresse à la boucle de **régulation de débit**.

R2.1 **Identifier** les grandeurs réglée, réglante et perturbatrice.

R2.2 On effectue un réglage des paramètres du régulateur à l'aide de la méthode par approches successives (dite méthode du régleur).

**Donner** le protocole opératoire de cette méthode.

R2.3 On réalise trois essais avec des valeurs différentes de gain (**annexe 6, page 11/16**). **Justifier** qualitativement l'essai le plus satisfaisant.

R2.4 On procède ensuite à trois essais, en rajoutant de l'action intégrale (**annexe 7, page 12/16**).

**Citer** la grandeur numérique à évaluer pour caractériser la rapidité.

**Mesurer** cette grandeur numérique pour les trois essais et **désigner** le plus rapide.

### **AUTOMATISME : étude de l'automatisation du filtre à charbon actif (8 points)**

**A1.** La régulation de débit est assurée par l'automate. Le transmetteur de débit est étalonné de 0 à 800 m<sup>3</sup>/h, la mesure étant convertie en un courant variant de 4 à 20 mA. La valeur de cette mesure est stockée dans un mot MW0 de l'automate.

A1.1 **Calculer** la valeur de l'intensité du courant en sortie du transmetteur, pour les valeurs de débit de 575 m<sup>3</sup>/h et 720 m<sup>3</sup>/h.

A1.2 Le mot MW0 est configuré entre 0 et 10 000.

**Calculer** la valeur du mot lorsque le débit est 575 m<sup>3</sup>/h et 720 m<sup>3</sup>/h.

<b>BTS MÉTIERS DE L'EAU</b>		<b>Session 2007</b>
<b>Étude de cas – U. 61</b>	<b>MTE6EDC</b>	<b>Page : 4/16</b>

A2. Le grafctet de gestion du filtre et le grafctet de lavage sont donnés **annexe 8 (page 13/16)**.

L'ordre de lavage du filtre est donné lorsque le niveau atteint le contact Nh qui se ferme.

- On ferme les deux vannes d'arrivées d'eau brute (PV1 et PV2) et on laisse le filtre se vider (ce qui correspond à une chute de débit  $Q < 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ).
- On injecte alors, à contre courant, de l'air, pendant 15 minutes, puis de l'eau, pendant 10 minutes.

On effectue ainsi, au total, quatre lavages par injection d'air puis injection d'eau, avant de rebasculer en filtration et régulation de débit (ajout d'un compteur).

<b>GRAFCTETS À DÉCOUPER ET COLLER OU AGRAFER SUR LA COPIE.</b>
--

A2.1 Compléter le grafctet de tâche G\_LAV.

A2.2 Compléter le grafctet de gestion G\_G.

### ÉLECTROTECHNIQUE : étude énergétique de la station et schéma de liaison à la terre (9 points)

#### E1. Énergie consommée par la station

Le tableau ci-dessous représente la consommation énergétique moyenne journalière (en kWh) de la station, pendant la période « Hiver » suivant le tarif « vert » :

Heure Creuse (HC)	Heure Pleine (HP)	Pointe (P)
698 kWh	1046 kWh	96 kWh

E1.1 Calculer l'énergie consommée par jour ( $W_{cj}$ ) par la station.

E1.2 Calculer le volume quotidien d'eau traité par jour ( $V_j$ ), sachant que le traitement d'un mètre cube ( $\text{m}^3$ ) nécessite 0,8 kWh.

E1.3 Le facteur de puissance moyen des récepteurs est  $\cos \varphi = 0,857$ .

Calculer l'énergie réactive consommée ( $W_{\text{RÉAC}}$ ) pendant les heures de pointe.

E1.4 La station paye une pénalité si  $\tan \varphi$  est supérieur à 0,4.

Justifier si la station aura à payer cette pénalité dans le cas présent.

E1.5 Proposer un moyen de réduction de l'énergie réactive, au cas où celle-ci serait trop grande.

#### E2. Schéma de liaison à la terre

E2.1 Le raccordement de la station au réseau EDF s'effectue par un schéma IT.

Donner la signification du sigle IT.

E2.2 Justifier l'utilisation de ce schéma de liaison à la terre.

<b>BTS MÉTIERS DE L'EAU</b>		<b>Session 2007</b>
Étude de cas – U. 61	<b>MTE6EDC</b>	<b>Page : 5/16</b>

E2.3 Un contrôleur permanent d'isolement (CPI) est placé en tête de l'installation.

**Préciser le rôle du CPI.**

E2.4 Citer l'appareil de protection en cas de deuxième défaut.

### **3ème PARTIE : HYDRAULIQUE (15 points)**

L'alimentation en eau de la station est assurée par le forage d'une nappe souterraine.

Le relevage est assuré par cinq pompes avec un fonctionnement 4 parmi 5.

Les caractéristiques de plusieurs pompes sont fournies (**annexe 10, page 15 et 16/16**).

Le débit nominal  $Q$  sera pris égal à  $2300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

La conduite alimentant la station a un diamètre de 350 mm, une longueur de 230 m et une rugosité de 1 mm.

Les pertes de charge linéaires sont déterminées à l'aide du modèle de Dubin (**annexe 9, page 14/16**).

#### **Données complémentaires :**

- hauteur géométrique d'élévation = 22 m ;

- les différents accessoires (crépine, clapet, colonne montante...) sont à l'origine de pertes de charge singulières que l'on estime à 10% des pertes de charge linéaires ;

- masse volumique de l'eau :  $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;

- accélération de pesanteur :  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**H1. Analyser** les courbes 1, 2 et 3 de l'**annexe 10** de manière à en **faire ressortir** les informations qu'elles contiennent.

**Expliquer** l'intérêt de la donnée constructeur NPSH.

**H2. Schématiser** le dispositif de relevage. Justifier l'intérêt de la cinquième pompe.

**H3. Calculer** les pertes de charge totales dans les conditions de fonctionnement nominales de la station.

**H4. Calculer** la hauteur manométrique totale de chaque pompe.

**Déterminer** le débit de la pompe « 2g » dans les conditions nominales de fonctionnement de la station.

**H5. Identifier** la référence de pompe permettant d'assurer l'approvisionnement en eau de la station dans les conditions nominales.

**Déterminer** le rendement de chaque pompe de relevage.

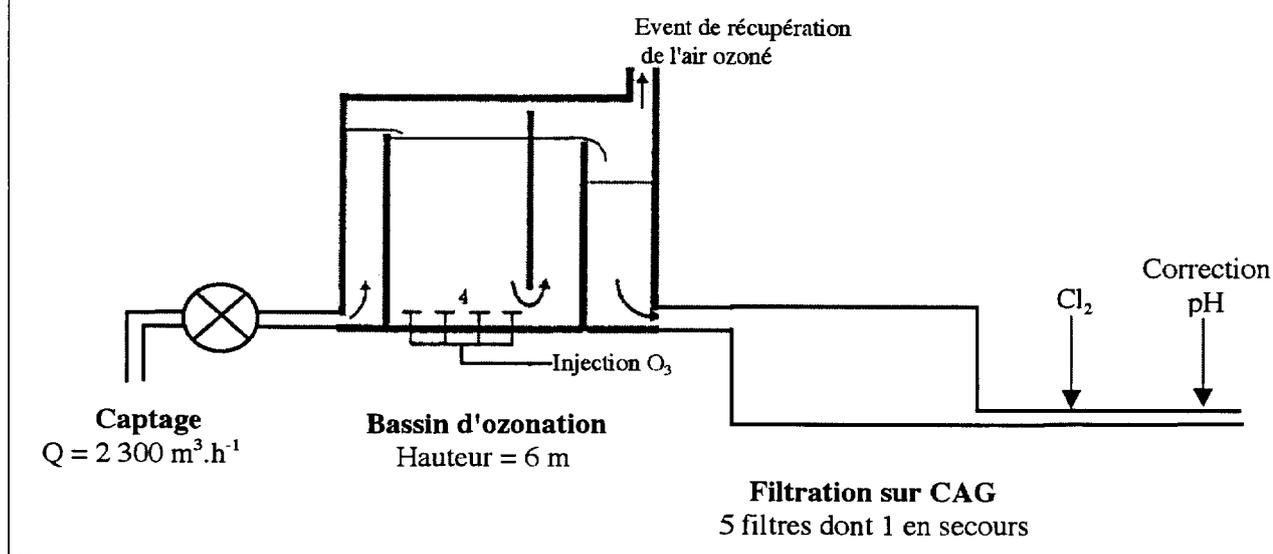
**H6. Calculer** la puissance électrique consommée par le système de relevage.

Le rendement électrique du système sera pris égal à 85%.

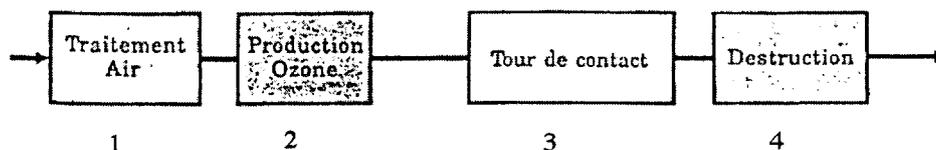
<b>BTS MÉTIERS DE L'EAU</b>		<b>Session 2007</b>
<b>Étude de cas – U. 61</b>	<b>MTE6EDC</b>	<b>Page : 6/16</b>

## ANNEXE 1

### Document 1 : filière de traitement par oxydation biologique



### Document 2 : filière de l'ozone



- 1- Traitement de l'air : compression, refroidissement (point de rosée  $-50^\circ\text{C}$ ), déshydratation, filtration.
- 2- Production d'ozone par une batterie de 3 ozoneurs.
- 3- Bassin de contact : taux de traitement de  $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ; temps de contact de 4 minutes.
- 4- Destruction thermique de l'air ozoné venant du bassin dans un four à  $320^\circ\text{C}$ .

### Document 3 : loi de Stokes

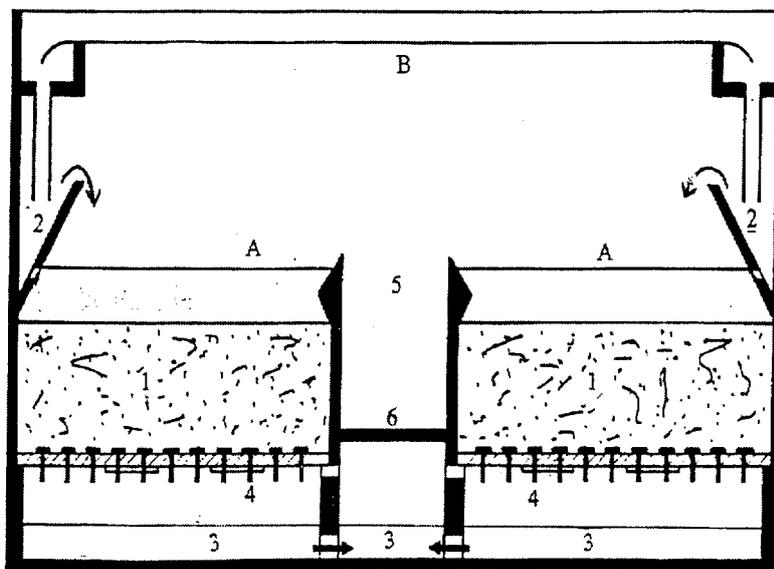
$V_p$  = vitesse de déplacement d'une particule grenue dans un flux laminaire :

$$v_p = (\rho_e - \rho_p) \cdot g \cdot d^2 / 18 \eta$$

avec  $\rho_e$  = masse volumique de l'eau =  $1000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;  
 $\rho_p$  = masse volumique de l'air ozoné =  $1,35\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ;  
 $g$  = accélération de la pesanteur =  $9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ;  
 $d$  = diamètre moyen des bulles d'air ozoné =  $2\text{ mm}$  ;  
 $\eta$  = viscosité de l'eau =  $0,001\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## ANNEXE 2

### Document 4 : filtre à CAG



A = Niveau minimal, filtre propre - Phase de fonctionnement :

1 : CAG

2 : arrivée d'eau à filtrer

3 : collecte d'eau traitée

4 : buselure.

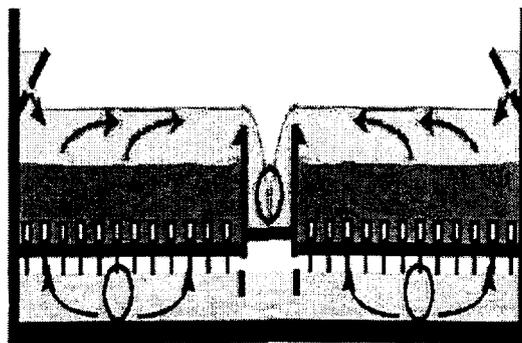
B = Niveau maximal, filtre encrassé - Phase de lavage :

4 : arrivée de l'eau filtrée et de l'air

5 : évacuation des boues de lavage

6 : collecteur des eaux de lavage.

### Document 5 : filtre en lavage



**Caractéristiques du filtre :**

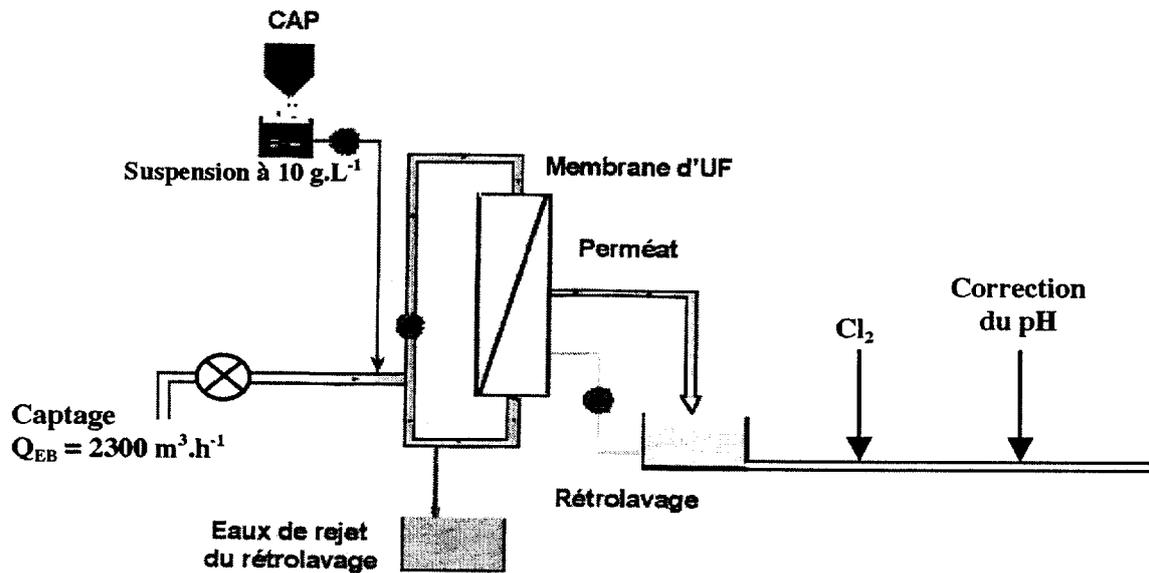
- hauteur de CAG = 1 m ;
- surface d'un filtre = 48 m<sup>2</sup> ;
- vitesse de filtration : de 10 à 15 m.h<sup>-1</sup> ;
- hauteur d'eau filtre propre = 0,5 m ;
- hauteur d'eau filtre encrassé = 1,5 m.

**Caractéristiques du charbon :**

- densité apparente = 0,5 ;
- surface spécifique = 1030 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>.

### ANNEXE 3

#### Nouvelle filière mettant en œuvre le procédé CRISTAL



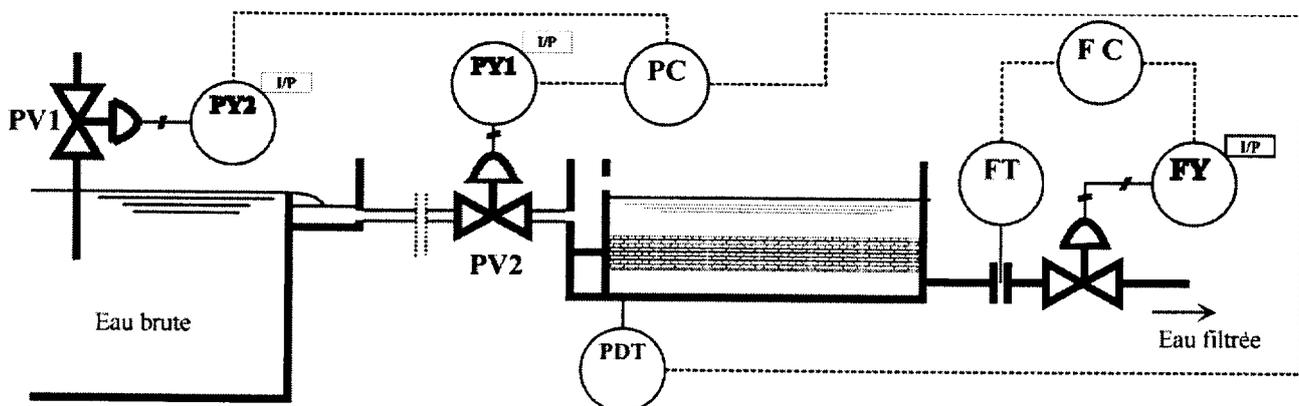
Installation de 8 blocs de 28 modules chacun. Surface totale développée : 14 000 m<sup>2</sup>.  
 Filtration par fibres creuses à peau interne, à raison d'environ 16 000 fibres par module.  
 Fibres de 1,25 m de longueur et 1 mm de diamètre.

$Q_{\text{rétenant}} = 24 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  par module ;

$Q_{\text{perméat}} = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  par module.

Rétro-lavage des blocs, toutes les demi-heures, pendant 2 minutes, à un débit de 50 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> par bloc, permettant l'évacuation d'environ 440 L d'eau chargée en CAP contenu dans le bloc.

### ANNEXE 4



## ANNEXE 5

### Application des isothermes d'adsorption de Freundlich au choix d'un charbon actif

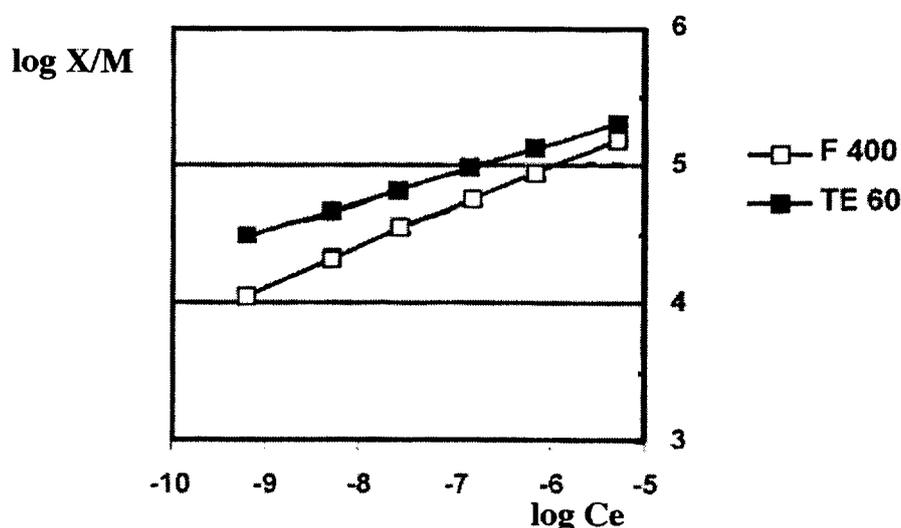
Dans une série de flacons contenant un litre d'eau, on introduit la même quantité d'atrazine, le pesticide majoritairement présent dans l'eau à traiter, (concentration initiale de polluant :  $C_0 \approx 1$  mg) puis des quantités croissantes  $M$  de CAP sec.

Au bout d'une heure d'agitation modérée, à température constante, on filtre sur acétate de cellulose de porosité  $0,45 \mu\text{m}$ , en éliminant les 100 premiers ml, puis on dose l'atrazine dans le filtrat. Pour chaque dose de CAP, on obtient ainsi la concentration à l'équilibre  $C_e$ .

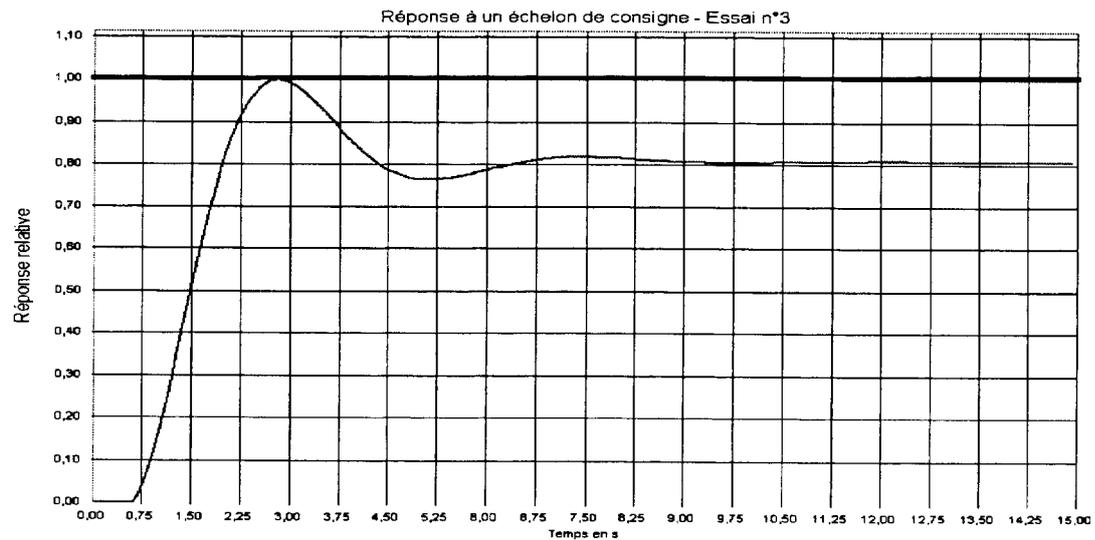
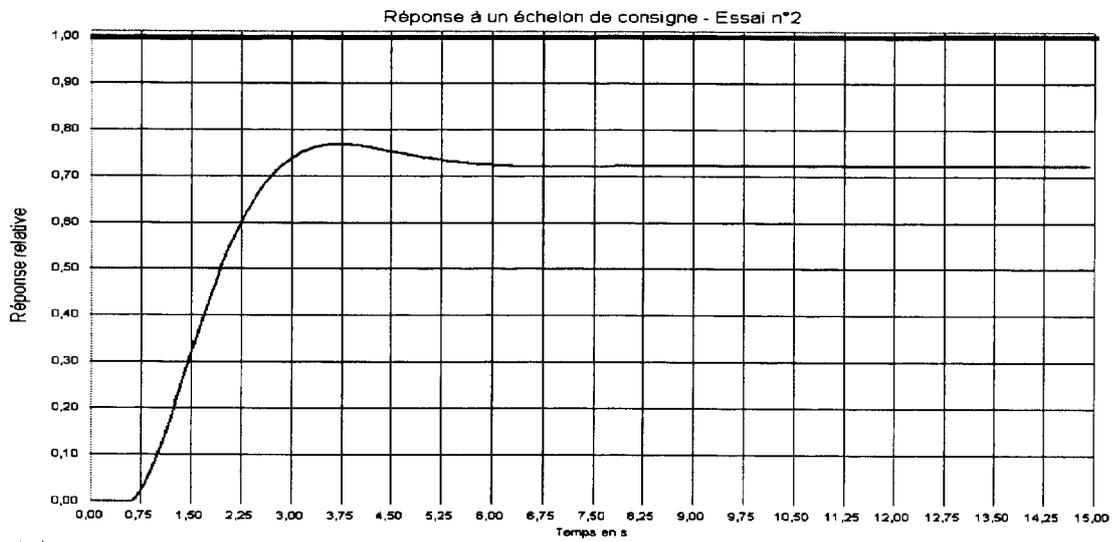
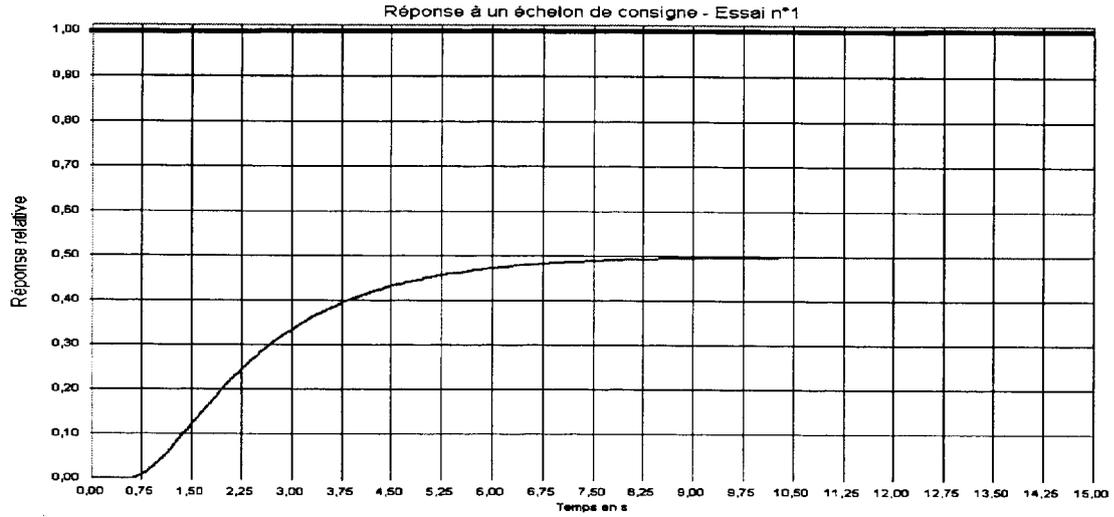
La quantité de polluant adsorbé  $X$  est la différence entre  $C_0$  et  $C_e$ .

On trace la courbe  $\log(X/M) = f(\log C_e)$  avec  $X$  en mg,  $M$  en g et  $C_e$  en mg/L (le rapport  $X/M$  exprime la quantité de polluant adsorbée par gramme de charbon).

L'essai est mené avec deux charbons (F 400 et TE 60) et les résultats obtenus sont :

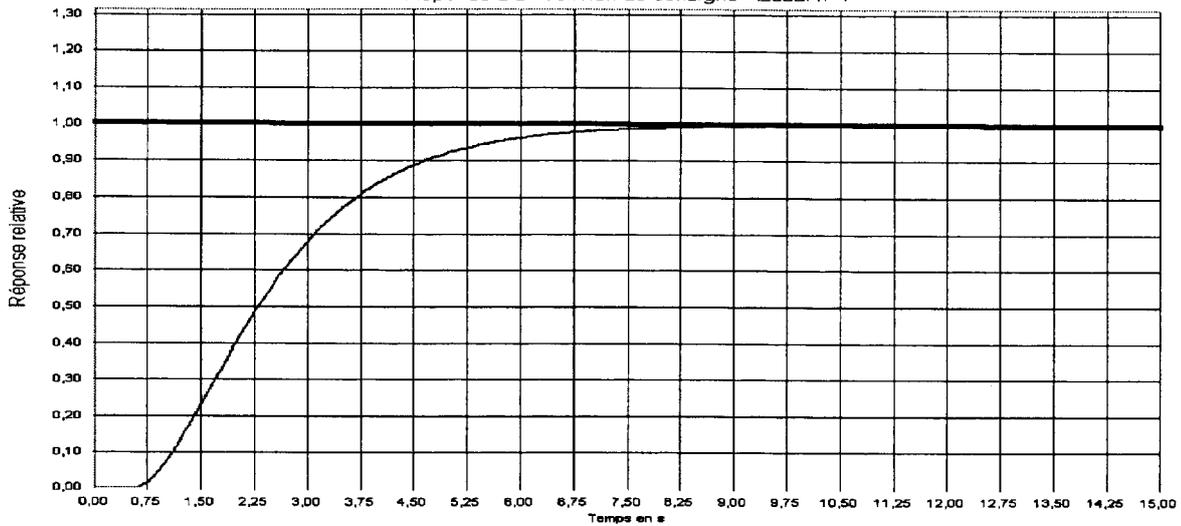


# Annexe 6

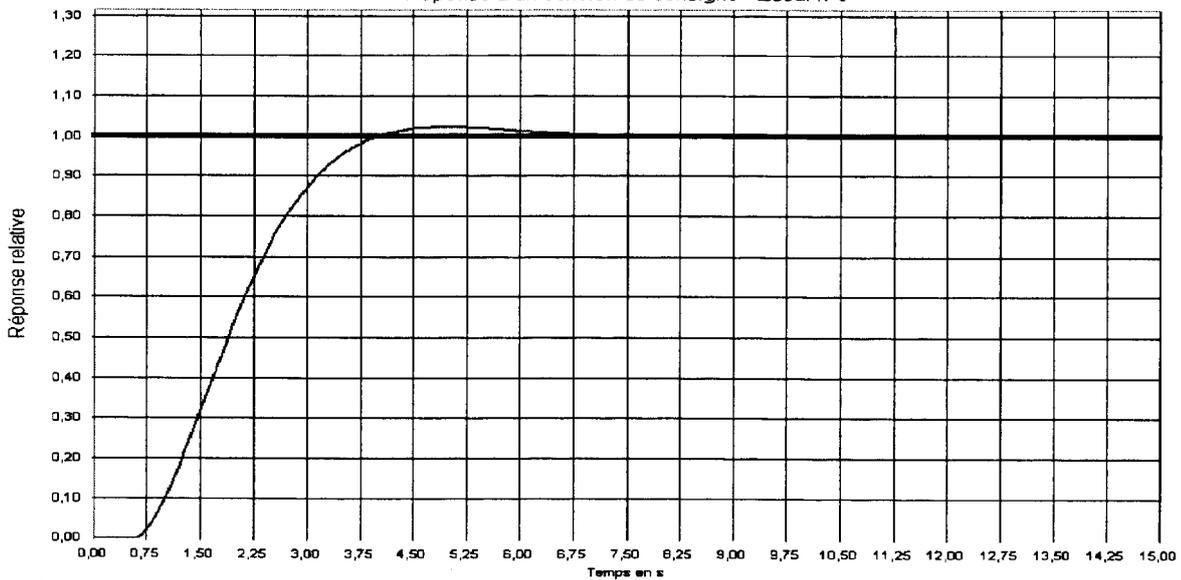


# Annexe 7

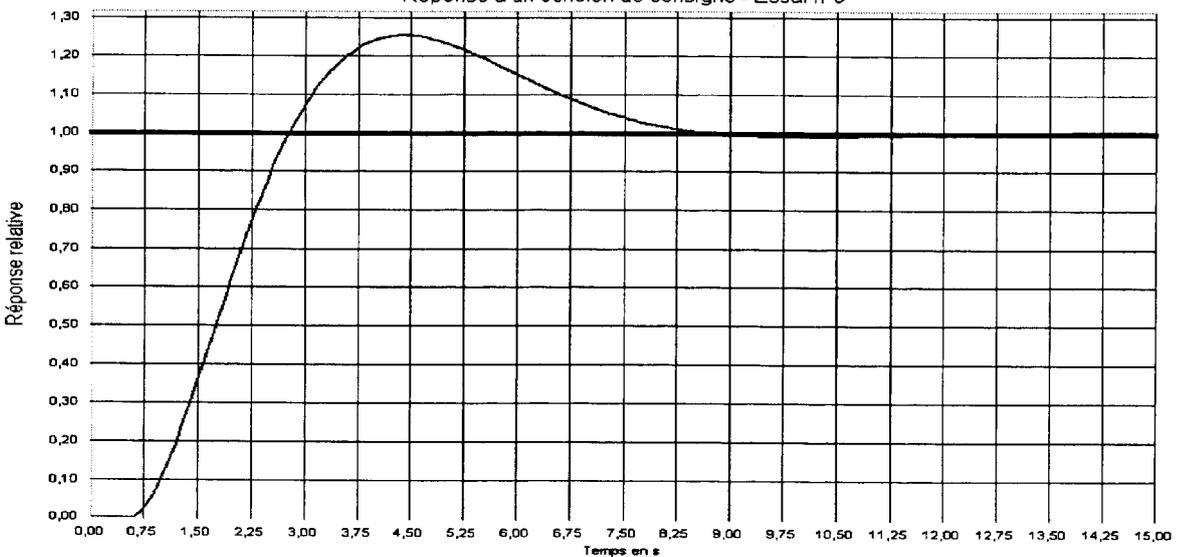
Réponse à un échelon de consigne - Essai n°4



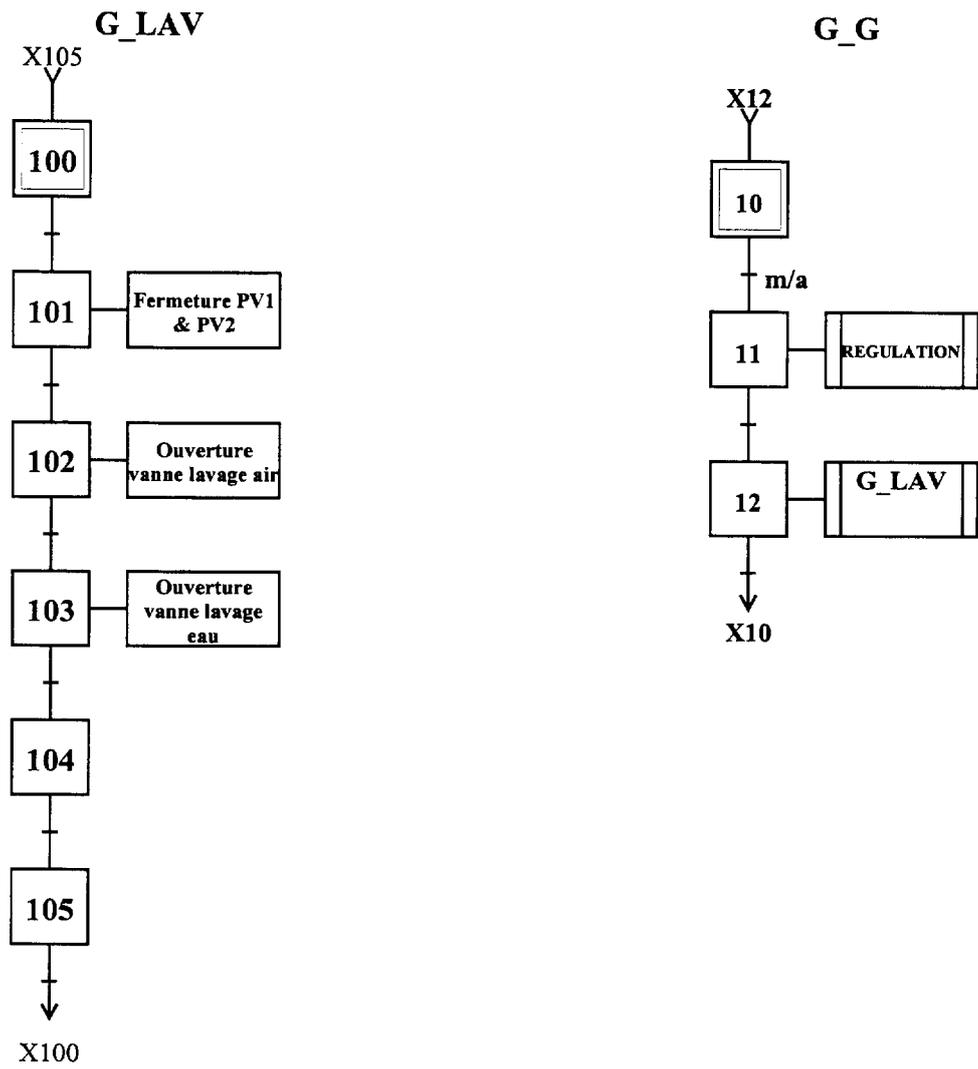
Réponse à un échelon de consigne - Essai n°5



Réponse à un échelon de consigne - Essai n°6



## ANNEXE 8



## ANNEXE 9

### TABLE DE DUBIN

Coefficients C et unités de débit des conduites de rugosité  $k = 1 \text{ mm}$

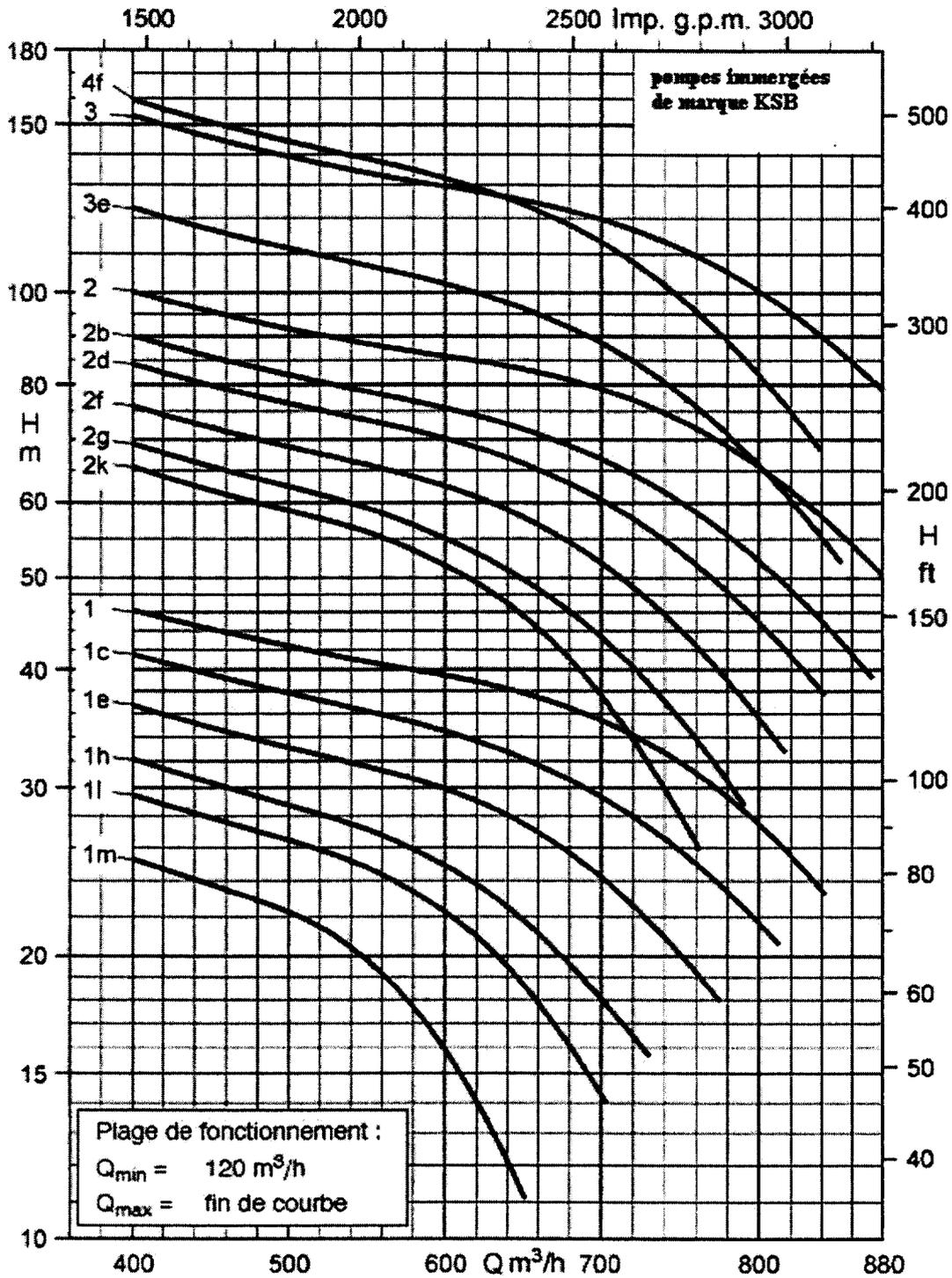
$$h = L.C.Q \quad h \text{ en m, } L \text{ en km et } Q \text{ en } \text{m}^3.\text{s}^{-1}.$$

$$\frac{1}{\sqrt{C}} = Q \cdot \sqrt{\frac{L}{h}} \quad h \text{ en m, } L \text{ en m et } Q \text{ en } \text{L}.\text{s}^{-1}.$$

D en m	C	$\frac{1}{\sqrt{C}}$	D en m	C	$\frac{1}{\sqrt{C}}$
0,040	42762000	4,836	0,300	915,6	1045
0,050	12841000	8,825	0,350	405,6	1570
0,060	4818000	14,41	0,400	200,5	2233
0,070	2107000	21,79	0,450	107,8	3046
0,080	1030000	31,16	0,500	61,86	4021
0,090	549100	42,68	0,600	23,7	6496
0,100	312800	56,54	0,700	10,54	9740
0,108	207500	69,42	0,750	7,335	11680
0,120	118300	91,94	0,800	5,227	13830
0,125	95170	102,5	0,900	2,817	18840
0,135	63190	125,8	1,000	1,621	24840
0,150	36080	166,5	1,100	0,9836	31890
0,162	23960	204,3	1,200	0,6235	40060
0,175	15910	250,7	1,250	0,5034	44570
0,200	7832	357,3	1,400	0,2782	59960
0,216	5208	438,2	1,500	0,1939	71820
0,225	4196	488,2	1,800	0,07472	115700
0,250	2402	645,2	2,000	0,04308	152300

# ANNEXE 10

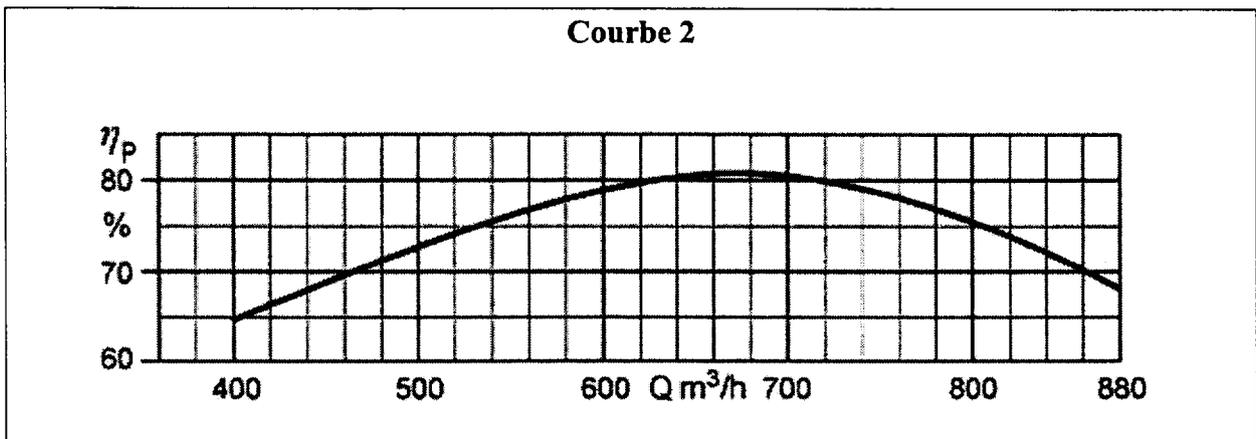
Courbe 1



Les différentes pompes disponibles sont identifiées par un numéro suivi éventuellement d'une lettre (1m, 1l, 1h, 1e, 1c, 1, 2k etc...).

## ANNEXE 10 (suite)

**Courbe 2**



**Courbe 3**

