

PRÉSENTATION DU DOSSIER

Aucun document autorisé

L'usage de calculatrices autonomes conformes
à la circulaire Réf. : C. n° 99-186 du 16-11-1999 est autorisé.

Le dossier proposé va permettre l'étude d'équipements techniques présents dans une usine du secteur laitier.

Cette usine assure la production de lait pasteurisé, de crème et de beurre à partir de lait entier. Les besoins énergétiques peuvent être assurés par un stockage d'eau chaude dans un réservoir désigné sous le terme d'hydroaccumulateur.

Les usines du secteur laitier ont de plus besoin de grandes quantités d'eau chaude aux fins de lavage et de désinfection des unités de production.

Cette épreuve comporte trois parties indépendantes, à rédiger sur des copies distinctes. Les durées indicatives sont données pour chaque partie, prise de connaissance du sujet incluse.

Le sujet a pour cadre l'étude de trois sous-systèmes fluidiques et énergétiques présents dans une laiterie industrielle :

- **Étude d'une bache de stockage d'eau traitée**, ouverte à la pression atmosphérique pour le lavage et la désinfection d'une unité de production.
Durée indicative de composition : *2 heures*.
- **Étude d'un hydroaccumulateur réchauffeur en circuit bouclé**, pour la pasteurisation du lait.
Durée indicative de composition : *1h 30min*.
- **Étude d'un échangeur refroidisseur** de lait écrémé en vue de son remplacement.
Durée indicative de composition : *30min*.

Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10 dont deux documents réponses (page 9/10 et 10/10) à rendre avec les copies.

Pour l'ensemble de l'étude, vous serez évalués sur :

- la pertinence et le réalisme des méthodes et des éventuelles hypothèses adoptées,
- le réalisme des solutions proposées,
- la précision et l'analyse des résultats,
- la qualité des documents.

Chaque partie sera composée sur des feuilles de copies séparées numérotées de 1/N à N/N ; N étant le nombre total de feuilles indépendantes y compris les documents réponses à compléter.

Nota : Un formulaire et des documentations techniques sont fournis en annexes en pages 7/10 et 8/10.

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 1/10

1. ÉTUDE D'UNE BÂCHE DE STOCKAGE D'EAU TRAITEE

Une bâche alimentaire de hauteur 6,80 m et de volume 35 m³ est utilisée pour les besoins en eau de lavage et de désinfection d'une des unités de production de la laiterie.

Cette bâche fonctionne à la pression atmosphérique :

- remplissage en eau froide à la température de 10°C minimum à partir de 19h,
- réchauffage de 22 h à 6h jusqu'à la température de 85°C,
- utilisation de l'eau de 6h à 18h : on considérera une consommation de 34m³ répartie sur 3 h.

L'installation comportera les éléments suivants :

- sur l'arrivée d'eau adoucie : robinet d'isolement, filtre à tamis fin, clapet anti-retour, électrovanne de remplissage pilotée par horloge et détecteur de niveau haut, robinet d'isolement ; cet ensemble devra pouvoir être bipassé ;
- un évier de diamètre approprié ramené au sol ;
- un ensemble de 3 thermoplongeurs de puissance adaptée piloté par relais heures creuses alimentés en 400 V triphasé ;...
- un thermostat réglé à 85°C et un thermostat de sécurité indépendant réglé à 90°C ;
- deux thermomètres à aiguille 0-120°C dont un situé en partie basse et l'autre situé au 2/3 de la hauteur de la cuve ;
- une détection de niveau haut et bas par flotteur avec renvoi d'alarme ; la détection niveau bas force l'ouverture de l'électrovanne de remplissage et la mise sous tension des thermoplongeurs ; l'électrovanne de remplissage est déclenchée par la détection niveau haut.
- contrôle de niveau visuel,
- sur le départ vers utilisation : robinet d'isolement,
- vidange équipée d'un robinet de manœuvre en DN40,
- ..."

Le réseau de distribution de l'eau vers les unités de nettoyage en place (équipements de nettoyage et désinfection des matériels de transformation laitière) est assuré par un réseau en acier inoxydable à choisir dans les diamètres et épaisseurs suivants :

Diamètre extérieur	13,5	17,2	21,3	26,9	33,7	42,4	48,3
Épaisseur	1,6 mm					2,6 mm	
Diamètre extérieur	60,3	76,1	88,9	114,3	139,3	168,3	219,1
Épaisseur	3,2 mm		3,6 mm		4 mm		

L'eau est surpressée par un groupe de deux pompes multicellulaires et d'un maintien de pression.

Questions

1.1 On demande de compléter le schéma de principe sur le document réponse n°1 (page 9/10) conformément à l'extrait du CCTP précédent.

1.2 On demande de traduire par un chronogramme le cycle de fonctionnement de l'hydroaccumulateur. Il sera tracé sur le document réponse n°2 (page 10/10).

Pour ce faire on demande de préciser en fonction de l'heure :

- les états (ouvert/fermé ; marche/arrêt) des différents équipements ;
- le niveau de l'eau dans la cuve entre 19 h et 6 h ;
- la température de l'eau.

On demande d'accompagner le chronogramme d'une notice explicative succincte des graphes reportés.

Nota : certains états ne peuvent pas être déterminés, ils apparaissent en grisé sur le document réponse.

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 2/10

1.3 On demande de déterminer : le K_{vs} de l'électrovanne si la pression d'alimentation en amont est de 2,9 bars et si la pression en aval correspond à la hauteur d'eau dans le réservoir. Le débit de remplissage de l'hydroaccumulateur est fixé à $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

1.4 On demande de déterminer : le débit maximum de puisage vers l'utilisation, le diamètre de la canalisation de distribution pour respecter une vitesse maximale de $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1.5 La valeur du débit de puisage choisie pour les calculs est de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et le diamètre choisi est le diamètre 60,3x3,2.

On demande de déterminer :

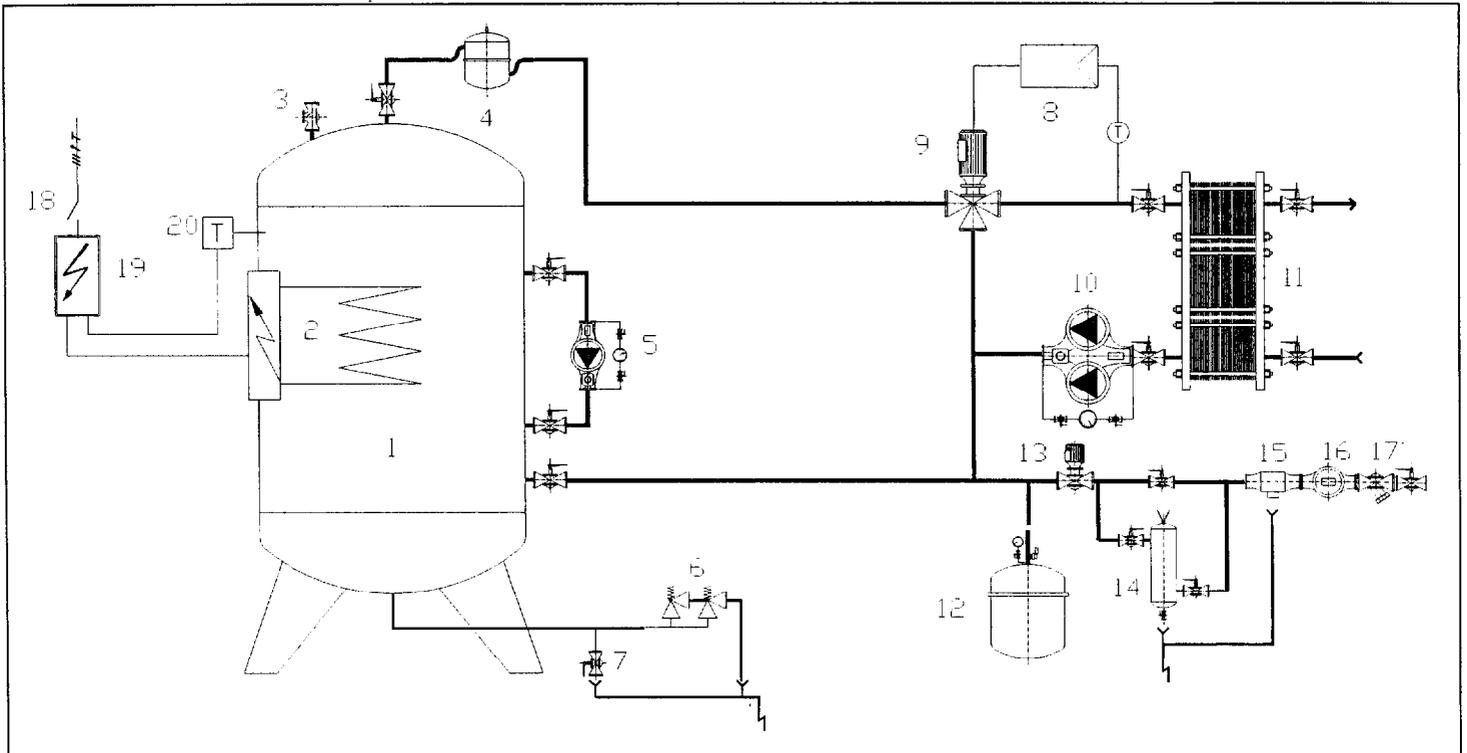
- la viscosité dynamique et la masse volumique de l'eau à la température de 85°C à l'aide de la table fournie ;
- le nombre de REYNOLDS de l'écoulement ;
- la pression dynamique de l'écoulement,
- la perte de charge linéaire à l'aide de la formule proposée.

Ce dernier calcul sera réalisé par itérations à partir de la valeur $\Lambda_0=0,01$ et de la méthode proposée dans le formulaire ; on demande de fournir les résultats de calcul intermédiaires dans un tableau à créer.

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 3/10

2. ÉTUDE D'UN HYDROACCUMULATEUR EN CIRCUIT BOUCLE BASSE PRESSION

La laiterie utilise de l'eau chaude à 80°C pour la pasteurisation du lait. Celle-ci est effectuée dans un échangeur à plaques traversé à contre-courant par l'eau de l'hydroaccumulateur, selon le schéma suivant :



Nomenclature			
1	Cuve	11	Echangeur à plaques
2	Thermoplongeur	12	Vase d'expansion
3	Clapet casse-vide	13	Electrovanne de remplissage
4	Dégazeur	14	Pot d'introduction de glycol
5	Pompe de brassage	15	Disconnecteur BA
6	Soupapes de sécurité	16	Compteur
7	Vanne de purge	17	Filtre à tamis
8	Régulateur de température	18	Contacteur heures creuses
9	Vanne trois voies	19	Coffret d'alimentation
10	Pompe de charge	20	Thermostat

L'hydroaccumulateur, de type *LACAZE CA1* a pour fonction de stocker les besoins journaliers en eau chaude, majorés de 10% pour éviter les problèmes d'homogénéisation de température d'eau en fin de journée. Les résistances des thermoplongeurs réchauffent la cuve pendant les heures creuses EDF (22h – 6h) sous le contrôle d'un thermostat réglé à 90°C. La cuve est constituée :

- d'une virole cylindrique et de deux calottes hémisphériques en acier de 10 mm d'épaisseur de conductivité thermique $\lambda = 50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$,
- d'une isolation en laine de roche haute densité RA3 de conductivité thermique $\lambda = 0,038 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$,
- d'une jaquette en aluminium *ISOXAL* de 2 mm d'épaisseur de conductivité thermique $\lambda = 200 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 4/10

Les besoins journaliers en eau à 80°C sont estimés à 60 m³. La chute de température de l'eau au primaire de l'échangeur vaut 10°C. Les déperditions de la cuve et les pertes par échauffement des récepteurs électriques sont estimées respectivement à 3% et 2% de la puissance électrique fournie.

On prendra comme valeurs moyennes de la masse volumique et de la capacité thermique massique de l'eau : $\rho = 972 \text{ kg.m}^{-3}$ et $c_p = 4196 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Questions :

- 21. Quelle technologie préconisez-vous pour la vanne trois voies ? Quelle est la fonction du clapet casse-vidé ?
- 22. Déterminez les débits journaliers dans chaque voies de la vanne de régulation de l'échangeur à plaques. En déduire le volume de l'hydroaccumulateur.
- 23. Déterminez la puissance électrique absorbée pour le réchauffage de l'eau en heures creuses.
- 24. L'isolation externe de la cuve est fixée à 150 mm d'épaisseur. La cuve choisie a un volume V de 35 m³, un rayon intérieur R_o égal à 1,25 m, une hauteur intérieure de calotte d=0,53 m, et une longueur H de virole de 6,80m. La température de l'eau θ_0 est supposée constante à 90°C grâce à la pompe de brassage. Les coefficients d'échange intérieur h_i et extérieur h_e sont évalués respectivement à 2,30 et 15,7 W.m⁻¹.K⁻¹.

- Quels sont les modes de transfert d'énergie entre l'eau stockée et l'air extérieur pris à une température moyenne θ_a de 9°C ?
- Déterminez l'expression du flux conductif au travers de la virole et des calottes sphériques, à partir des formules approchées données en annexe.
- En déduire la valeur de la résistance thermique globale r_{th} de la cuve et la puissance de déperditions. La puissance perdue cadre-t-elle avec l'hypothèse de 3% de déperditions par rapport à la puissance du thermoplongeur ?
- L'expression donnant la température de l'eau à un instant t au cours du refroidissement peut

s'écrire :
$$\frac{\theta(t) - \theta_a}{\theta_0 - \theta_a} = \exp\left(\frac{-t}{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot r_{th}}\right)$$

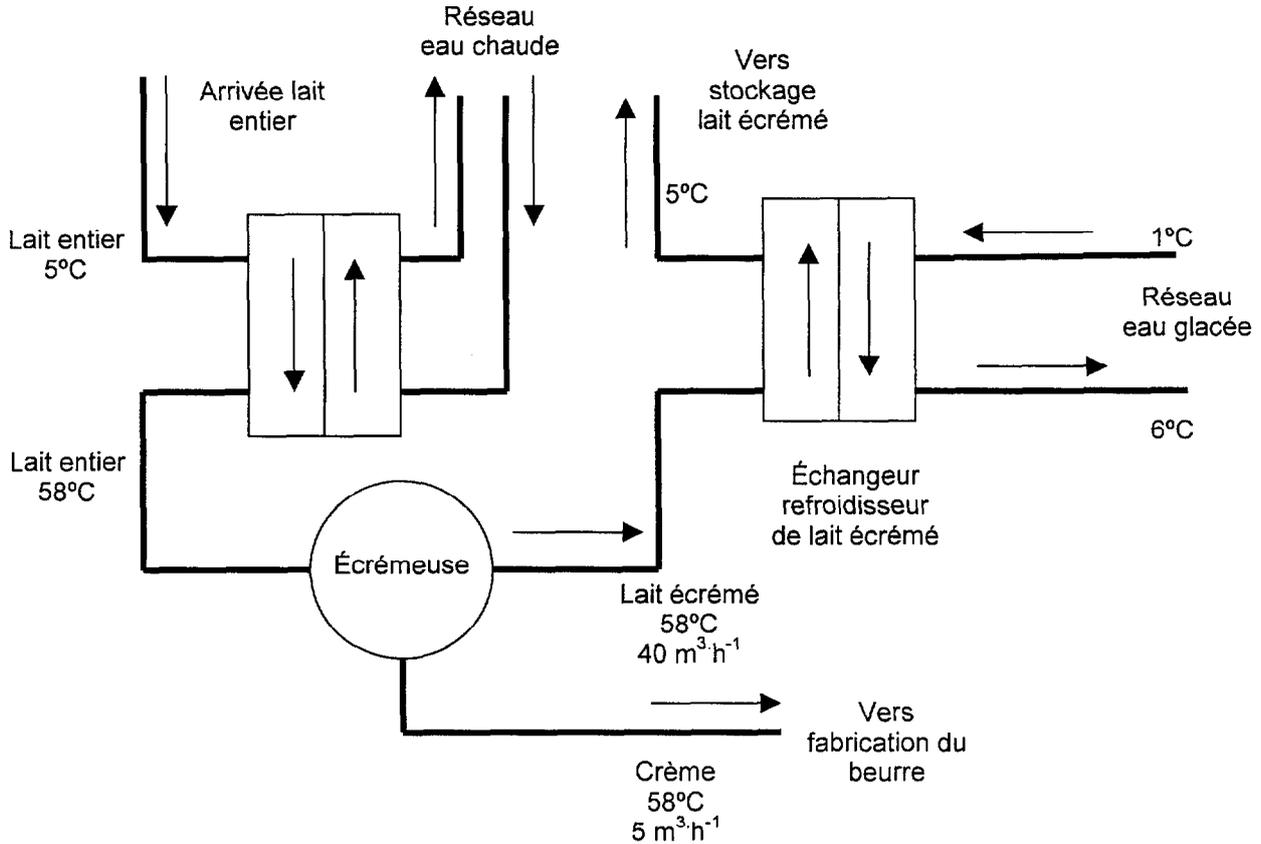
Quelle serait la chute de température après 16h de stockage sans puisage ?

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 5/10

3. ÉTUDE D'UN ÉCHANGEUR REFROIDISSEUR DE LAIT

La laiterie reçoit par camion, du lait entier à la température de 5°C. Le lait entier va être :
 - réchauffé de la température de 5°C à 58°C,
 - écrémé.

Après écrémage, on obtient 5 m³.h⁻¹ de crème et 40 m³.h⁻¹ de lait écrémé. La crème va être dirigée vers une autre unité de l'usine pour être transformée en beurre. Le lait écrémé va être refroidi puis stocké en cuve.



Questions :

- On demande de déterminer :
- 3.1 la puissance thermique de l'échangeur de refroidissement du lait écrémé,
 - 3.2 le débit massique dans le réseau d'eau glacée,
 - 3.3 l'efficacité de cet échangeur.

Vérification des performances d'un échangeur.

On dispose à l'atelier d'un échangeur à plaques ayant une surface d'échange de $S=95 \text{ m}^2$. Les débits massiques et températures d'entrée des deux fluides restent inchangés.

- On demande de déterminer :
- 3.4 le nombre d'unités de transfert (NUT),
 - 3.5 l'efficacité de cet échangeur (à partir de l'abaque fourni).
 - 3.6 les températures de sortie des deux fluides.

Données complémentaires :

Eau glacée capacité calorifique $c_p=4,21 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 masse volumique : $\rho=998 \text{ kg.m}^{-3}$

Lait écrémé capacité calorifique $c_p=4,02 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 masse volumique : $\rho=1033 \text{ kg.m}^{-3}$

Coefficient global d'échange $K_g=1250 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 6/10

Formulaire et données.

Perte de charge : $\Delta p = \frac{\Lambda}{D} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot L$

Δp : perte de charge en Pa ;

L : longueur de la canalisation en m ;

D : diamètre de la canalisation de section circulaire en m ;

$\rho \cdot \frac{w^2}{2}$: pression dynamique due à au fluide de masse volumique ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et de vitesse constante w exprimée en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pour $Re > 10^5$ $\frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = 2 \cdot \log \left(Re \frac{\sqrt{\Lambda}}{2,51} \right)$; avec log : logarithme décimal et $Re = \rho \cdot \frac{w \cdot D}{\mu}$

Démarche proposée pour la question 1.5 :

Afin de déterminer la valeur de Λ on propose d'appliquer la démarche suivante : à partir de la valeur de

Λ_0 fournie calculer $\frac{1}{\sqrt{\Lambda_1}} = 2 \cdot \log \left(Re \frac{\sqrt{\Lambda_0}}{2,51} \right)$ en déduire la valeur Λ_1 .

Cette valeur de Λ_1 sera utilisée pour calculer Λ_2 par : $\frac{1}{\sqrt{\Lambda_2}} = 2 \cdot \log \left(Re \frac{\sqrt{\Lambda_1}}{2,51} \right)$ et ainsi de suite jusqu'à ce

que l'on n'observe plus de variation sur 3 chiffres significatifs.

Caractéristiques de l'eau en phase liquide en fonction de la température θ exprimée en degré Celsius.							
θ	p_s	ρ	h	c_p	$\mu \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^6$	λ
0,01	0,00611	999,8	0,000 611	4,218	1786	1,786	0,569
10	0,01227	999,6	41,99	4,194	1304	1,305	0,587
20	0,02337	998,2	83,86	4,182	1002	1,004	0,603
30	0,04241	995,6	125,66	4,179	798,3	0,802	0,618
40	0,07375	992,2	167 47	4179	653,9	0,659	0,631
50	0,12335	988,0	209,3	4,181	547,8	0,554	0,643
60	0,19920	983,2	251,1	4,185	467,3	0,473	0,653
70	0,31162	977,7	293,0	4,191	404,8	0,414	0,662
80	0,47360	971,8	334,9	4,198	355,4	0,366	0,670
90	0,70109	965,3	376 9	4,207	315,6	0,327	0,676
100	1,01330	958,3	419,1	4,218	283,1	0,295	0,681
110	1,4327	951,0	461,3	4,230	254,8	0,268	0,684
120	1,9854	943,1	503,7	4,244	231,0	0,245	0,687

avec :

Symbole	Grandeur
p_s	pression de saturation en bar
ρ	masse volumique en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
h	enthalpie massique en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
c_p	capacité thermique à pression constante en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
μ	viscosité dynamique en $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$
ν	viscosité cinématique en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$: $\frac{\mu}{\rho}$
λ	conductivité thermique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Pr	nombre adimensionnel de PRANDTL : $\frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}$

Surface d'une calotte sphérique : $S = 2\pi \cdot R_0 \cdot d$

Conductance globale en $W \cdot K^{-1}$ d'une virole cylindrique multicouches (dans l'hypothèse d'une

épaisseur négligeable devant le rayon) :
$$: \frac{2\pi \cdot R_0 \cdot H}{\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

Conductance globale en $W \cdot K^{-1}$ d'une calotte sphérique multicouches (dans l'hypothèse d'une épaisseur négligeable devant le rayon) :

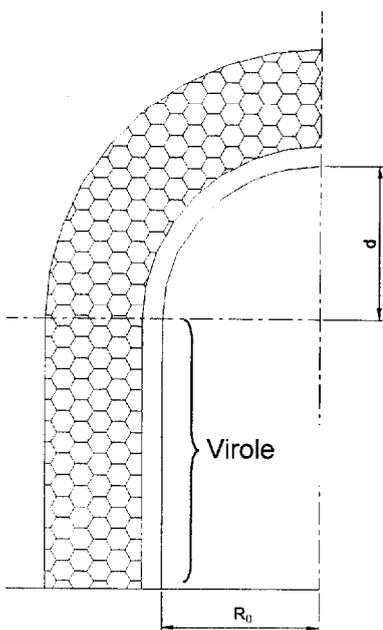
$$\frac{2\pi \cdot R_0 \cdot d}{\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$$
 avec :

R_0 : rayon intérieur du cylindre ou de la calotte

H : hauteur de la virole ;

e_i et λ_i : épaisseurs et conductivité thermique des matériaux constitutifs des épaisseurs e_i ;

d : hauteur de la calotte sphérique.

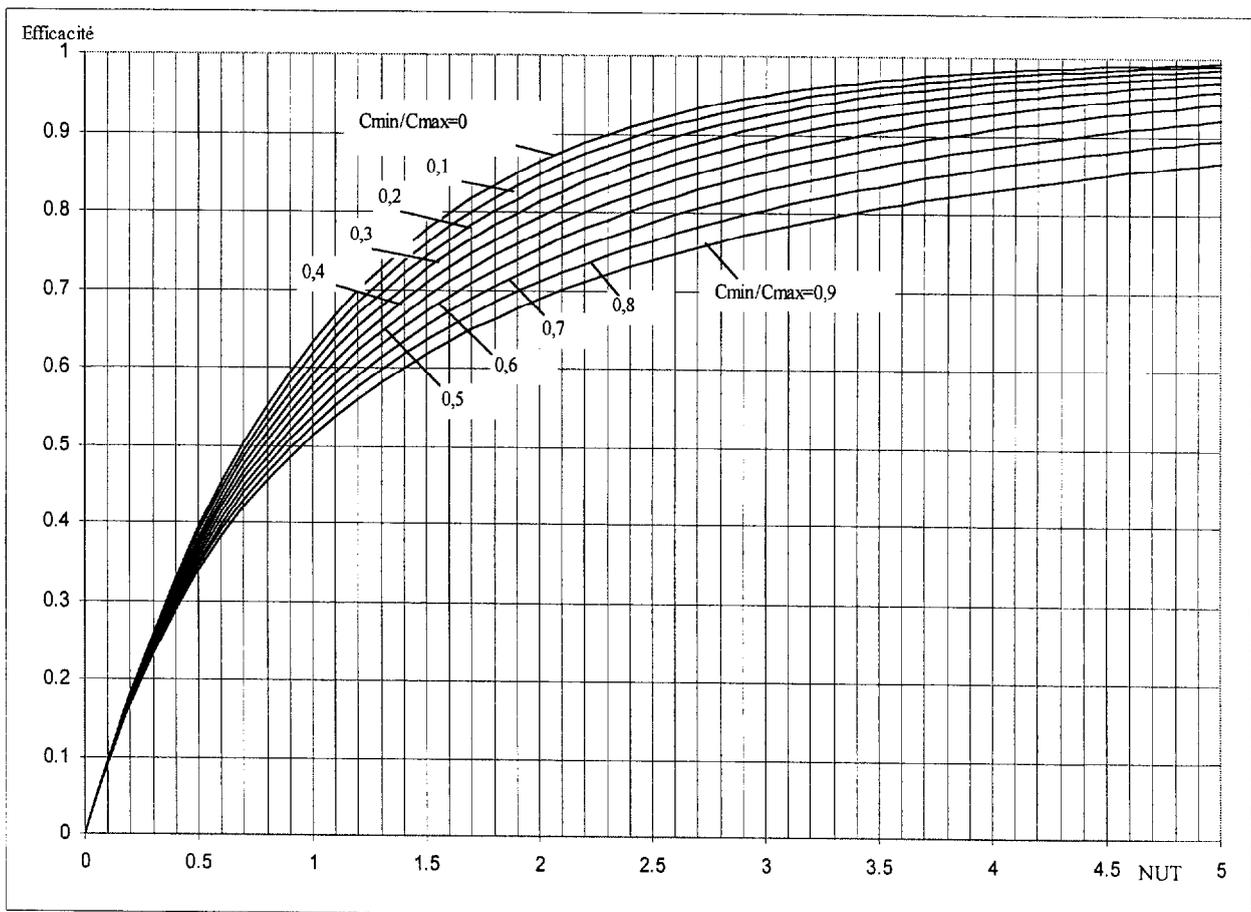


Éfficacité d'un échangeur =

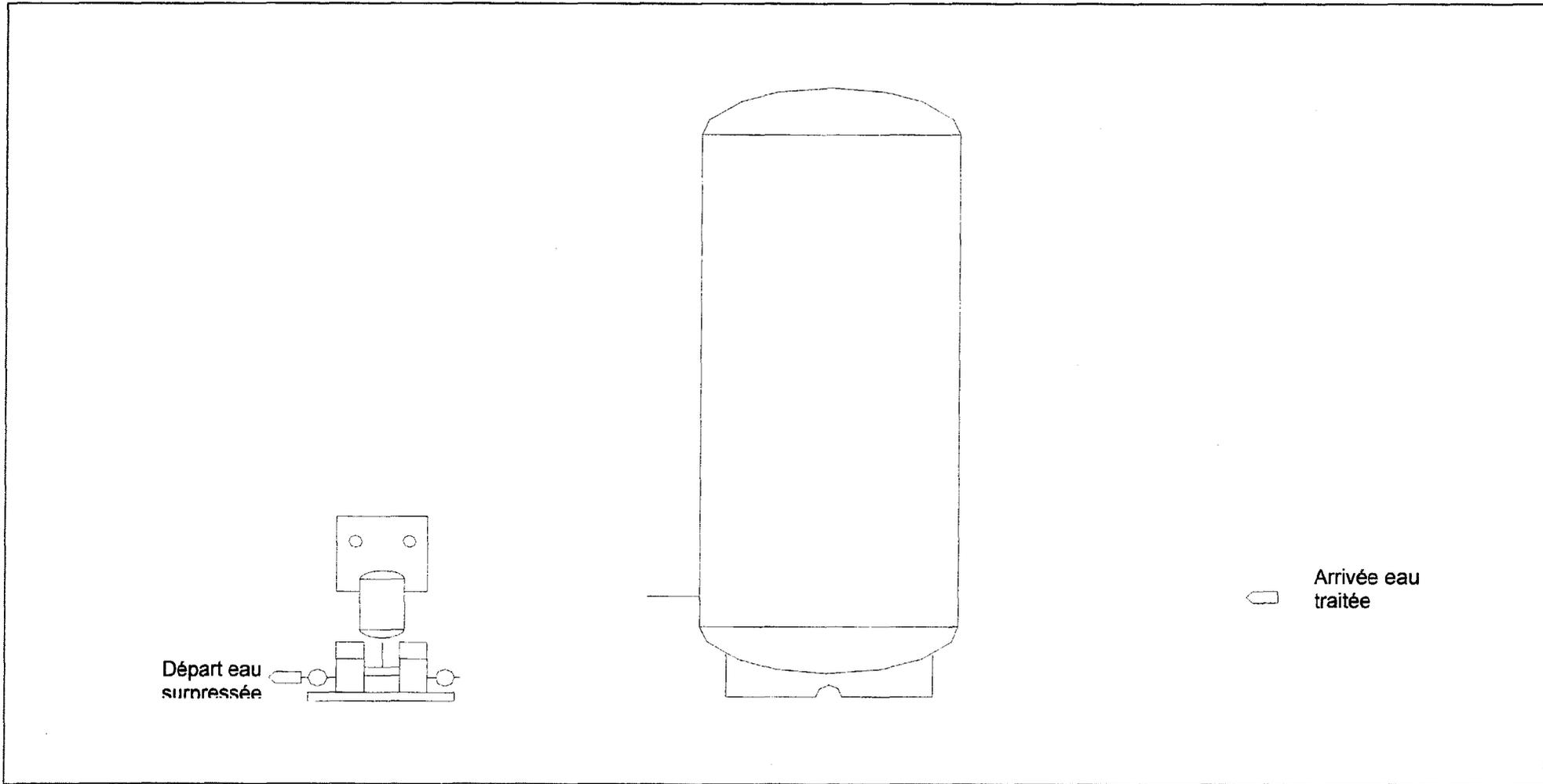
Puissance thermique échangée

Puissance thermique maximale échangeable

NUT : Nombre d'unités de transfert :
$$\frac{K_g \cdot S}{(q_m \cdot C)_{\min}}$$



4. DOCUMENT RÉPONSE N°1



Examen ou concours :
 Spécialité/option :
 Repère de l'épreuve :
 Épreuve/sous-épreuve :
 (Précisez, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Série :

BTS FLUIDES ENERGIES ENVIRONNEMENTS		Session 2001
Fluidique – énergétique - environnement	Sciences et techniques	Coef. 4
FEE2FLU	Durée : 4 h	Page 9/10

Si votre composition comporte plusieurs feuilles, numérotez-les et placez les intercalaires dans le bon sens.

Examen ou concours : Série :
 Spécialité/option :
 Repère de l'épreuve :
 Épreuve//sous-épreuve :
 (Précisez, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Si votre composition comporte plusieurs feuilles, numérotez-les et placez les intercalaires dans le bon sens.

DOCUMENT RÉPONSE N°2

Chronogramme des états des équipements de la cuve.

H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N _H																								
N _B																								
Ev																								
Th																								

État des détecteur de niveaux haut et bas : N_H et N_B ;
 État de l'électrovanne de remplissage : Ev ;
 État des thermoplongeurs : Th
 en fonction de l'heure H
 0 = non actif ou contact ouvert
 1 = actif ou contact fermé
 ■ = état inconnu

Graphe de report des volumes (en m³) et températures (en °C) de l'eau de la cuve.

