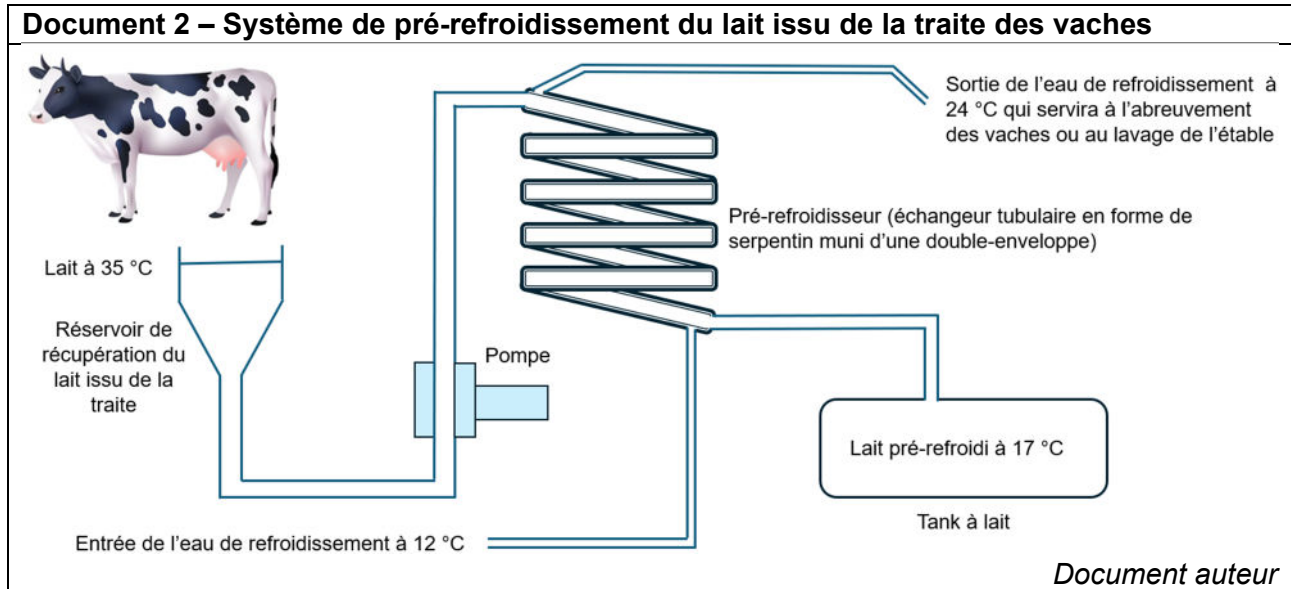


PARTIE B – Pré-refroidissement du lait (5 points)

Pré-refroidissement du lait issu de la traite

À l'issue de la traite des vaches de l'exploitation laitière, le lait est à la température de 35 °C. Celui-ci doit donc être refroidi avant d'être versé dans le tank à lait (réservoir qui sert au stockage). Cette opération de refroidissement est réalisée à l'aide d'un échangeur thermique appelé « pré-refroidisseur ».



Q6. Préciser si le fonctionnement du pré-refroidisseur est à contre-courant ou à co-courant, en s'appuyant sur le sens de circulation des fluides dans le **document 2**.

Données :

- volume de lait obtenu pendant 20 minutes de traite : $V_{\text{lait}} = 410 \text{ L}$;
- masse volumique du lait : $\rho_{\text{lait}} = 1,03 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- capacité thermique massique du lait : $c_{\text{lait}} = 3,97 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- volume d'eau de refroidissement mis en jeu pour traiter 410 L de lait : $V_{\text{eau}} = 615 \text{ L}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On rappelle que l'énergie reçue par une masse m_{liq} d'un liquide lors d'une variation de température $\Delta\theta$ est donnée par la relation suivante :

$$Q_{\text{liq}} = m_{\text{liq}} \times c_{\text{liq}} \times \Delta\theta$$

Q7. Montrer que l'énergie thermique nécessaire pour refroidir le lait issu de la traite, de 35 °C à 17 °C, est égale en valeur absolue à $|Q_{\text{lait}}| = 3,0 \times 10^7 \text{ J}$.

On suppose que les pertes d'énergie dans le système de pré-refroidissement peuvent être négligées. On considèrera alors : $|Q_{\text{eau}}| = |Q_{\text{lait}}|$.

Q8. Calculer l'élévation de température de l'eau de refroidissement et vérifier qu'elle est en concordance avec les informations du **document 2**.

Dimensionnement du pré-refroidisseur

Le pré-refroidisseur est composé de tubes échangeurs appelés modules. Dans cette sous-partie, le fermier cherche à dimensionner ce pré-refroidisseur en déterminant le nombre de modules nécessaire pour s'équiper.

Document 3 – Documentation technique du pré-refroidisseur

Le serpentín, de type tubulaire concentrique, constitué de PVC et d'inox permet une circulation de l'eau de refroidissement en tout point de l'appareil, favorisant ainsi les échanges thermiques.

Données techniques :

- coefficient global d'échange : $K = 400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
- écart moyen de température entre les deux fluides : $\Delta\theta = 7,6 \text{ K}$.

Le système est vendu par module (1) permettant d'adapter la surface d'échanges thermiques selon les besoins de chaque exploitation laitière.

Pour un module, la longueur du tube est de 28 m, le diamètre intérieur du tube est de 32 mm et le diamètre extérieur du tube est de 48 mm.

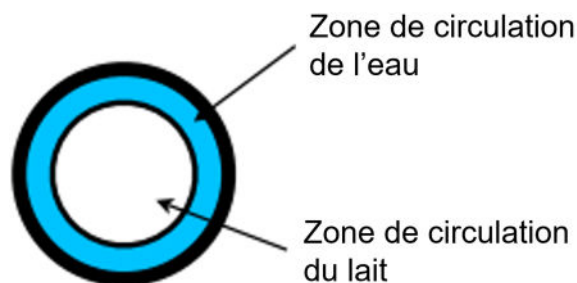


Schéma d'une coupe du tuyau du module

D'après fermequip.fr

Donnée : aire de la surface du tube intérieur pour un module de diamètre D et de longueur L :
 $S_{\text{module}} = \pi \times D \times L$.

Q9. Déterminer l'aire de la surface d'échange d'un module, notée S_{module} , entre le lait et l'eau.

Document 4 – Flux thermique échangé à travers un échangeur thermique

En régime stationnaire, le flux thermique échangé entre deux fluides (sans changement d'état) est donné par la relation suivante :

$$\Phi = K \times S \times \Delta\theta$$

- Φ : flux thermique (en W) ;
- S : surface d'échange entre les deux fluides (en m^2) ;
- K : coefficient global d'échange thermique de l'échangeur (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) ;
- $\Delta\theta$: écart moyen de température entre les deux fluides dans l'échangeur (en K).

Le flux thermique Φ échangé entre le lait et l'eau dans le refroidisseur pendant une durée Δt est donné par la relation suivante : $\phi = \left| \frac{Q_{\text{lait}}}{\Delta t} \right|$ avec $|Q_{\text{lait}}| = 3,0 \times 10^7 \text{ J}$.

Q10. Montrer que l'aire de la surface d'échange S dans le pré-refroidisseur afin de traiter 410 litres de lait en 20 minutes est égale à $S = 8,2 \text{ m}^2$.

Q11. Dédire des deux questions précédentes, en justifiant, le nombre de modules nécessaires pour l'installation laitière étudiée.