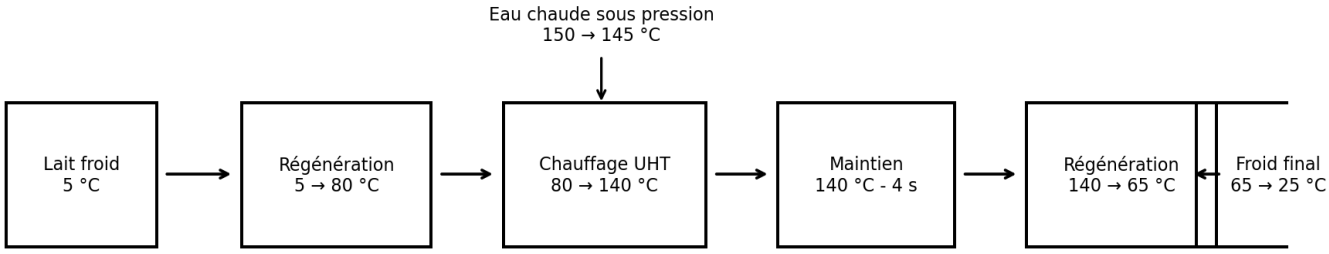
ÉTUDE DE CAS - PRÉPARATION DE LAIT UHT

Traitement indirect par échangeur à plaques - débit 5 000 kg/h



Échange indirect : le lait et le fluide chauffant restent séparés par les plaques.

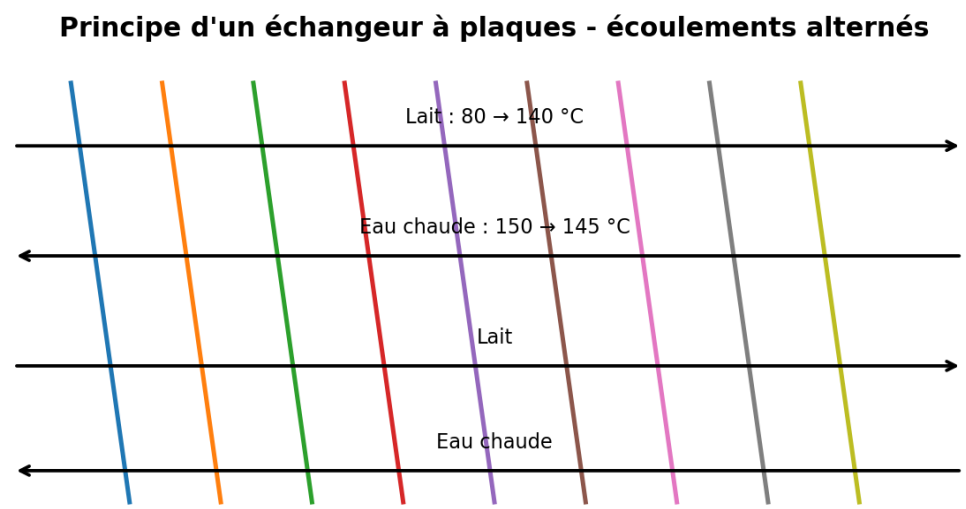
1. Objectif et principe

L'étude porte sur une ligne UHT indirecte. Le lait est préchauffé par régénération, porté à 140 °C dans une section de chauffage à plaques, maintenu pendant 4 s, puis refroidi en récupérant une partie de sa chaleur avant le refroidissement final.

Le Codex décrit le traitement UHT comme une opération continue pouvant utiliser un chauffage indirect par surface d'échange et indique que le traitement se situe normalement entre 135 et 150 °C avec un temps de maintien approprié pour atteindre la stérilité commerciale. Le couple 140 °C - 4 s utilisé ici est donc une hypothèse pédagogique située dans cette plage, et non un barème universel.

2. Données de calcul

Paramètre	Valeur
Débit massique du lait	5 000 kg/h
Débit volumique	4.85 m³/h
Température d'entrée	5 °C
Après régénération	80 °C
Traitement UHT	140 °C - 4 s
Eau chaude sous pression	150 → 145 °C
Température finale	25 °C
Cp lait	3 900 J/(kg.K)
Masse volumique	1 030 kg/m³
Coefficient global U retenu	1 800 W/(m².K)



Les plaques minces offrent une grande surface et favorisent des coefficients de convection élevés.

3. Bilan thermique sans récupération

La puissance nécessaire pour chauffer directement le lait de 5 à 140 °C est :

$$Q = \dot{m}\, Cp\, (140 - 5) = 731.2 \text{ kW}$$

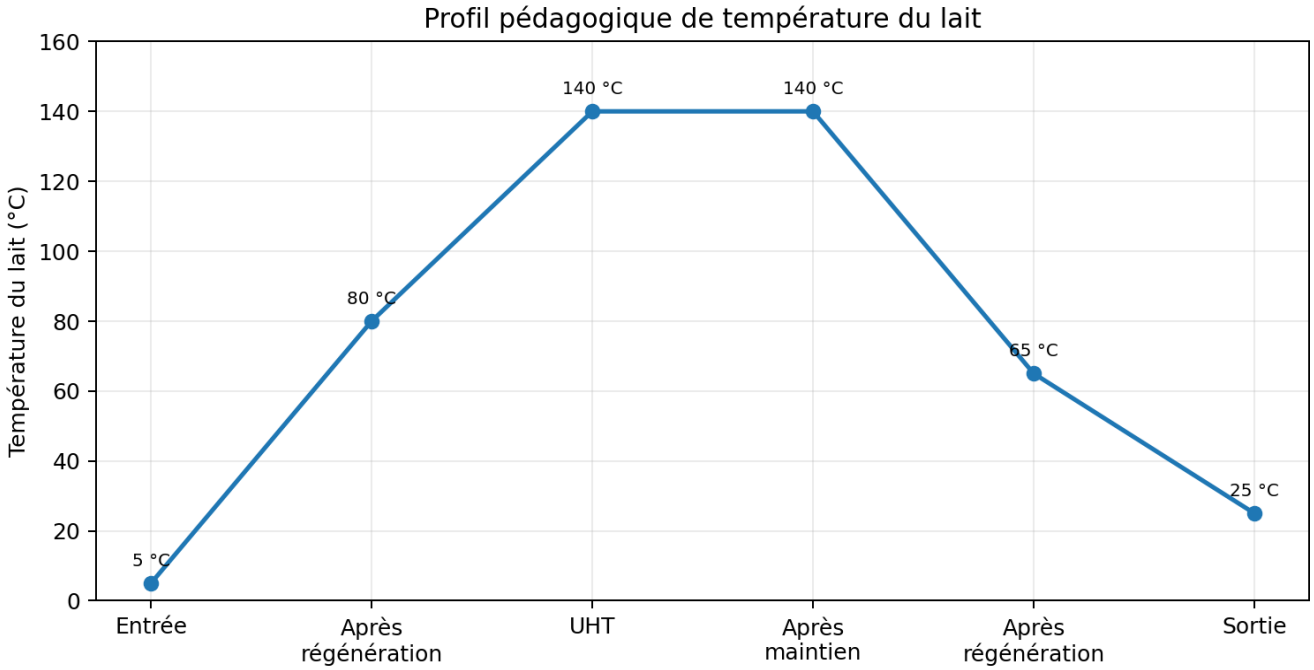
Cette valeur de 731 kW montre pourquoi la récupération thermique est essentielle dans une ligne UHT indirecte.

4. Régénération

Le lait froid est préchauffé de 5 à 80 °C par le lait UHT sortant. Dans un bilan idéal à débits et Cp identiques, le lait chaud se refroidit simultanément de 140 à 65 °C.

$$Q_{reg} = \dot{m}\, Cp\, (80 - 5) = 406.2 \text{ kW}$$

La récupération représente environ 55.6 % du besoin sensible total de chauffage.



5. Chauffage final UHT et surface de plaques

Après régénération, le chauffage externe doit faire passer le lait de 80 à 140 °C :

$$Q_{UHT} = \dot{m}\, Cp\, (140 - 80) = 325.0 \text{ kW}$$

Pour un fonctionnement à contre-courant avec l'eau chaude 150 → 145 °C :

$$\Delta T_1 = 150 - 140 = 10 \text{ K} ; \Delta T_2 = 145 - 80 = 65 \text{ K}$$

$$\Delta T_{lm} = 29.38 \text{ K}$$

En retenant U = 1 800 W/(m².K) pour ce pré-dimensionnement :

$$A = Q/(U\, \Delta T_{lm}) = 6.14 \text{ m}^2$$

La surface calculée concerne la section de chauffage final dans ce modèle simplifié. Le dimensionnement réel dépend du dessin des plaques, de l'encrassement, des pertes de charge, de la viscosité et des marges de fonctionnement.

6. Tube de maintien

Pour un tube de maintien de diamètre intérieur 40 mm, la vitesse moyenne du lait est :

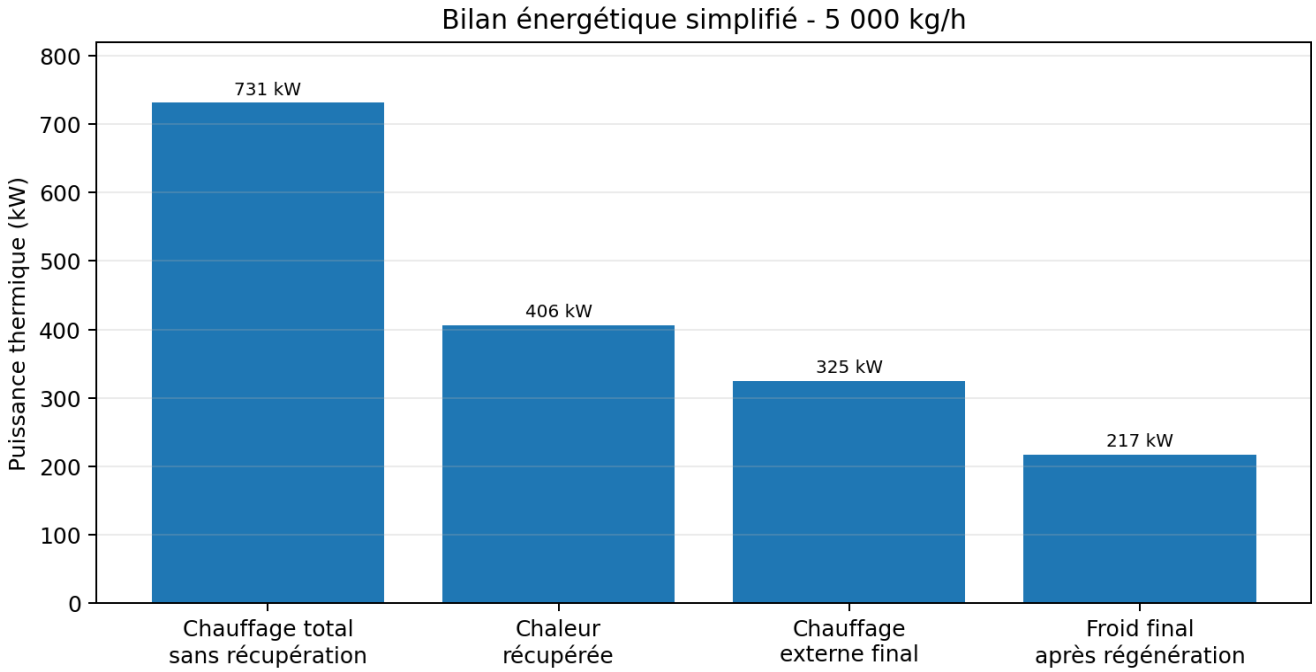
$$v = 1.07 \text{ m/s}$$

La longueur correspondant à un temps moyen de 4 s vaut :

$$L = vt = 4.29 \text{ m}$$

En conception sanitaire, le temps de séjour minimal et le débit maximal doivent être pris en compte ; la longueur moyenne calculée ici ne constitue pas à elle seule une validation du traitement.

7. Bilan énergétique



Grandeur	Résultat
Puissance théorique sans récupération	731.2 kW
Puissance récupérée	406.2 kW
Chauffage externe final	325.0 kW
Récupération simplifiée	55.6 %
Température après régénération côté chaud	65 °C
Froid final, 65 → 25 °C	216.7 kW

Grandeur	Résultat
DTLM chauffage final	29.38 K
Surface de chauffage calculée	6.14 m²
Tube de maintien 40 mm	4.29 m à 1.07 m/s

8. Exploitation pédagogique

Le cas met en évidence trois points : (1) la régénération réduit fortement le besoin de chauffage externe ; (2) la faible approche thermique à la sortie UHT impose une surface d'échange suffisante ; (3) l'encrassement des plaques augmente la résistance thermique et peut diminuer U au cours de la production.

Dans une installation industrielle, l'échangeur fait partie d'un système aseptique complet. Le Codex associe le traitement UHT à un traitement continu suivi d'opérations aseptiques et d'un conditionnement aseptique. Tetra Pak indique également que des unités UHT indirectes peuvent utiliser un échangeur tubulaire ou à plaques et fonctionner dans des conditions aseptiques.

9. Références

• Codex Alimentarius / FAO-WHO, Milk and Milk Products - Code of Hygienic Practice for Milk and Milk Products (CXC 57-2004) : définition et critères généraux du traitement UHT et de la stérilité commerciale.
• Tetra Pak, Dairy Processing Handbook - Heat exchangers : plages usuelles des traitements thermiques laitiers et principes des échangeurs.
• Tetra Pak, Indirect UHT unit DE : exemple d'unité UHT indirecte aseptique utilisant un échangeur tubulaire ou à plaques.

Avertissement : ce document est un support pédagogique et un pré-dimensionnement thermique. Le barème UHT, le temps de séjour, la stérilité commerciale, le système aseptique, les procédures CIP/SIP et les critères de libération du produit doivent être établis et validés pour l'installation et le produit réels.