

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

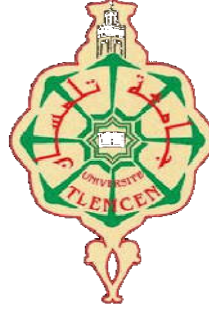
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par : HACHEMAOUI Ahmed
HABBEDDINE Soufiane Omar

Sujet

Contribution à l'amélioration des conditions du transport de lait durant la collecte.

Soutenu publiquement, le 30 / 06 / 2022 , devant le jury composé de :

M SAIM Rachid

Mme MOSTEFAOUI Amina

Mme KHALDI Souheyla

Pr

MAB

MCB

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadreur

DÉDICACE

Je dédie ce travail à Dieu Tout Puissant, en espérant que ce travail sera issu de la connaissance qui en bénéficie.

A mes chers parents

Aucun mot ne saurait exprimer mon amour, mon respect et ma reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour ma formation et ma réussite.

Dieu merci de m'avoir donné des parents aussi magnifiques.

A tous mes amis chaque'un avec son nom

A tous mes amis de la promo master 2 Energétique 2021-2022

HACHEMAOUI Ahmed

Dédicace

Je dédie ce travail

À ma chère mère ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire
mon chemin.

À mon cher père en signe d'amour de reconnaissance et de gratitude pour
tout le soutien et les sacrifices dont la fait preuve à mon égard.

À mes chers frères et chères soeurs aucun mot ni aucun signe ne pourront
décrire votre implication dans a leur soutien pour moi.

À tous mes amis en témoignage de l'amitié sincère et du soutien
inébranlable que vous m'avez apporté et merci pour tous les professeurs

Remerciement

Nous remercions Dieu le clément, le tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Madame KHALDI Souheyla, Maitre de conférences au sein de l'Université de Tlemcen et directrice de ce mémoire pour ses orientations exceptionnelles. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants de nous avoir offert la possibilité de travailler dans ce contexte de ces programmes d'études.

L'aboutissement de ce travail doit beaucoup à leur confiance, leur soutien incessant aussi bien moral que matériel et à leurs encouragements permanents. Vos soutiens constants et vos nombreux conseils nous ont aidé à faire progresser cette étude. Nous vous remercions sincèrement.

On tient à remercier particulièrement monsieur le chef du département de génie mécanique à l'université de Tlemcen: M BENRAMDANE Mohammed pour sa grande participation ainsi que tout le personnel et les enseignants du département pour leur soutien inestimable.

Nous tenons également à remercier Monsieur SAIM Rachid d'avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin d'études.

Notre gratitude va également à Madame MOSTEFAOUI Amina elle a bien voulu examiner notre travail. Nous la remercions pour l'intérêt qu'elle a apporté à notre travail.

Nous adressons mes sincères salutations à ceux qui ont contribué à la réussite et à la réalisation de cette étude, de la maison des jeunes à Baity Agency, ainsi qu'à la Confrérie des Scouts Islamiques d'Algérie.

Nous remercions aussi Monsieur DERRAZ Mohammed et KELTOUMI Hicham qui ont ouvert toutes les portes pour nous, et nous ont donné les informations de base et nécessaires pour commencer ce travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'études.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, nos respects et nos gratitude.

ملخص

يفسد الحليب لأن الجراثيم تتكاثر في الحليب الساخن أسرع منها في الحليب البارد. أثناء النقل ، يجب ألا تتجاوز درجة حرارة الحليب 10 درجات مئوية عند الوصول إلى الوجهة المقصودة. خزانات من الفولاذ المقاوم للصدأ ، مع عزل خاص، والتي تضمن درجة حرارة ثابتة تستخدم لتقليل ارتفاع درجة حرارة الحليب أثناء النقل. لا يمكن أن يضمن هذا الحل جودة الحليب الجيدة لفترات النقل الطويلة. الهدف من عملنا هو البحث عن حل يضمن للحليب وقتاً طويلاً للنقل في ظل ظروف مناخية قاسية من خلال دراسة عددية لخزان مخصص لنقل الحليب. الجزء الأول يحلل حالة أولية لصهرج غير معزول. تم إجراء المحاكاة من أجل تحديد المجالات الديناميكية والحرارية لتدفق الحليب. يتم تحديد معادلات الحفظ في ظل النظام الصفحي وغير المستقر وحلها بطريقة الحجم المحدود باستخدام الكود التجاري Fluent 6.3. الجزء الثاني يحلل تأثير دمج العزل الحراري حول الخزان ومبخر مغمور في الحليب من أجل ضمان وقت نقل طويل مع ضمان حماية الحليب.

الكلمات المفتاحية

نقل الحليب ، شاحنة نقل الحليب ، تبريد ، مبخر ، عزل ، إشعاع شمسي

Résumé

Le lait se gâte à cause des germes qui se multiplient plus vite dans le lait chaud que dans le lait froid. Pendant le transport, la température du lait ne doit pas dépasser 10 °C à l'arrivée dans l'établissement de destination. Des citernes en acier inoxydable, dotées d'isolation spéciale, qui assurent une température stable sont utilisées pour minimiser l'élévation de la température du lait au cours du transport. Cette solution ne peut assurer la bonne qualité du lait pour les durées prolongées du transport. L'objectif de notre travail est de rechercher une solution assurant au lait un délai prolongé du transport sous des conditions climatiques sévères à travers une étude numérique d'une citerne destinée au transport du lait. La première partie analyse un cas préliminaire d'une citerne non isolée. Les simulations ont été faites afin de déterminer les champs dynamique et thermique de l'écoulement du lait. Les équations de conservations sous le régime laminaire et instationnaire sont discrétisées et résolues par la méthode des volumes finis à l'aide du code commercial Fluent 6.3. La deuxième partie analyse l'effet d'intégrer une isolation thermique autour de la citerne et un évaporateur immergé dans le lait afin d'assurer un délai du transport prolongé tout en assurant la protection du lait.

Mots clés

Transport du lait, camion-citerne, refroidissement, évaporateur, isolation, rayonnement solaire.

Abstract

Milk spoils due to germs which multiply faster in hot milk than in cold milk. During transport, the temperature of the milk must not exceed 10°C on arrival at the establishment of destination. Stainless steel tanks, with special insulation are used to minimize the temperature rise of the milk during transport ensuring a stable temperature. This solution cannot ensure good milk quality for extended transport times. The main aim of our work is to find a solution which ensure an extended period of transport for milk under severe climatic conditions through a numerical study of a tank intended for the transport of milk. The first part analyzes a preliminary case of an uninsulated tank. The simulations were done in order to determine the dynamic and thermal behaviors of the milk flow. The conservation equations under the laminar and unsteady regime are discretized and solved by the finite volume method using the commercial code Fluent 6.3. The second part analyzes the effect of integrating thermal insulation around the tank and an evaporator immersed in the milk in order to ensure a prolonged transport time while ensuring the protection of the milk.

Key words

Milk transport, tank truck, cooling, evaporator, insulation, solar radiation.

Table des matières

Remerciement.....	i
-------------------	---

Résumé

..**Error! Bookmark not defined.**

Table des matières.....	vi
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Nomenclature.....	xii
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I: Généralité sur le lait et le transport du lait

I.1.	Introduction.....	3
I.2.	Définition.....	3
I.3.	Comparaison des compositions des laits de différentes espèces :.....	3
I.4.	Caractères physico-chimiques du lait.....	4
I.4.1.	Point de congélation.....	4
I.4.2.	Point d'ébullition.....	4
I.4.3.	Acidité du lait.....	4
I.4.4.	Densité.....	5
I.4.5.	pH.....	5
I.5.	Les caractères nutritionnels du lait :.....	5
I.6.	Qualité organoleptique du lait.....	7
I.11.1.	Couleur.....	7
I.11.2.	Odeur.....	7
I.11.3.	Saveur.....	7
I.11.4.	Viscosité.....	7
I.7.	La composition microbiologique du lait.....	7
I.7.1.	Germes pathogènes:.....	8
I.7.2.	Germes indicateurs.....	8
I.7.3.	Germes d'altération.....	8
I.7.4.	Le premier objet de l'emploi du froid est de bloquer les développements microbiens.....	8
I.8.	Conservation du lait à la ferme :.....	9

I.9.	Transport à la laiterie:.....	10
I.11.1.	Citerne.....	10
I.11.2.	Isolation des citernes et des tanks réfrigérants.....	11
I.11.3.	L'acier inoxydable, matériau indispensable	11
I.10.	Réception du lait à la laiterie	12
I.11.	Le froid.....	12
I.11.1.	Définition.....	12
I.11.2.	Les composantes d'installation frigorifique.....	12
I.11.2.1.	Le compresseur.....	12
I.11.2.2.	Le condenseur.....	14
I.11.2.3.	Le détendeur	15
I.11.2.4.	L'évaporateur	15

CHAPITRE II: Recherche bibliographique

II. 1.	Introduction	17
II. 2.	Le stockage.....	17
II. 3.	Application de CFD dans les systèmes de réfrigérations	17
II. 4.	Méthodes de réfrigération :	19
II.4.1.	Réfrigération avec saumure:	19
II.4.2.	Réfrigération par eau glacée:	20
II. 5.	Importance du temps de refroidissement.....	21

CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et résolution numérique

III. 1.	Introduction	23
III. 2.	Géométrie du problème	23
III. 3.	Modélisation mathématique et conditions aux limites	25
III.3.1.	Hypothèses simplificatrices.....	25
III. 3.2	Modèle mathématique	25
a)	Dans lait.....	25
b)	Equation de conservation d'énergie dans les solides	26
III. 3.3	Conditions initiales et les conditions aux limites	26
a)	Conditions climatiques.....	26
b)	Condition aux limites	27
III. 4.	Résolution numérique.....	29
III. 5.	Conclusion.....	29

CHAPITRE IV: Résultats et interprétations

IV.1.	Introduction	30
IV.2.	Présentation du code de calcul	30
IV.3.	Test de maillage et de pas du temps	31
IV.4.	Validation du modèle numérique	32
IV.5.	Etude préliminaire d'une citerne construite d'une seule couche d'acier.....	33
IV. 5.1.	Comportement dynamique et thermique du lait.....	34
IV. 5.2.	Evolution de la température du lait au cours du temps	36
IV.6.	Citerne double paroi à isolation thermique.....	38
IV.6.1.	Comportement dynamique et thermique du lait.....	39
IV.6.2.	Evolution de la température du lait au cours du temps	41
IV.7.	Citerne double paroi à isolation thermique avec évaporateur immergé	41
IV.7.1.	Effet de la position de l'évaporateur.....	42
A.	Evaporateur placé en haut de la citerne	42
B.	Evaporateur placé en bas de la citerne.....	46
IV.7.2.	Effet de la longueur et la température de l'évaporateur	48
IV.8.	Efficacité de l'évaporateur sous des conditions climatiques variables	50
IV.9.	Conclusion.....	51
	Conclusion générale	53
	Références	55

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Composition chimique du lait de quelques espèces animales [4] .	4
Tableau I. 2: Composition nutritionnelle moyenne du lait de vache .[11]	6
Tableau III. 1: Paramètres de conception du la citerne.	25
Tableau III. 2: Propriétés thermophysiques.	25
Tableau IV. 1: Test d'indépendance du maillage: comparaison de la température au centre de la citerne pour différents maillages.	33
Tableau IV. 2: Durée de refroidissement du lait pour différents cas de l'évaporateur.	50

Liste des figures

Figure I. 1: Lait cru.....	3
Figure I. 2: Influence de la température de conservation sur la multiplication bactérienne au bout de 24 h.....	9
Figure I. 3: Croissance bactérienne en fonction de la température et du temps de refroidissement [19]...	10
Figure I. 4: Camion-citerne, détails de construction (Cliché MAGYAR)[21].	11
Figure I. 5: Compresseur semi-hermétique à piston.....	13
Figure I. 6: (a) Schéma Compresseur à vis (b) compresseur scroll (source Copland)	14
Figure I. 7: schéma condenseur	15
Figure I. 8: schéma détendeur	15
Figure I. 9: Schéma d'évaporateur.....	16
Figure II. 1: Champ de température dans le plan droit de l'armoire, à la fin de la simulation de 6 min [°C][25].	19
Figure II. 2: Evacuation de la chaleur lors de la formation de glace.[26]	21
Figure II. 3: Les spécifications et les systèmes de refroidissement du réfrigérateur testé.[28].....	22
Figure III. 1: Présentation de la citerne avec évaporateur.	25
Figure III. 2: L'évolution horaire de la température et le rayonnement solaire	28
Figure III 3: Présentation des conditions aux limites.	29
Figure IV. 1: Citerne construit d'une seule couche d'acier	32
Figure IV. 2: Test d'indépendance du maillage: comparaison de la température moyenne du lait à une surface verticale au milieu de la citerne	33
Figure IV. 3 :Test du pas du temps.....	33
Figure IV. 4: Comparaison de la température moyenne de l'air avec les résultats expérimentaux et numériques.[32].....	34
Figure IV. 5: Citerne construit d'une seule couche d'acier.	35
Figure IV. 6: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à t=6min10s.	36
Figure IV. 7: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à t=10 min.....	37
Figure IV. 8: (a) Évolution de la température nodale du lait à $x = 1.83$ m pour différentes hauteurs $y = 0.05, 0.25, 0.5, 0.75, 0.95$ m. (b) Les positions des cinq points dans la citerne.	38
Figure IV. 9:L'évolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.	39
Figure IV. 10: (a) Citerne réelle, (b) schéma de la citerne double paroi à isolation.....	40
Figure IV. 11: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à t=10min.....	41
Figure IV. 12: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à t=1h36min.....	41
Figure IV. 13: L'évolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.	42
Figure IV. 14: Schéma de la citerne double paroi à isolation avec évaporateur intégré en haut.....	43

Figure IV. 15: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) en présence de l'évaporateur à $t=10$ min.	44
Figure IV. 16: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) en présence de l'évaporateur à $t=50$ min.	45
Figure IV. 17: Evolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.....	45
Figure IV. 18: Comparaison de l'évolution de la vitesse moyenne de l'écoulement du lait pour les deux cas: sans et avec évaporateur.	46
Figure IV. 19: Comparaison de la chaleur moyenne dégagée par la paroi supérieure de la citerne pour deux cas: citerne sans et avec évaporateur.	46
Figure IV. 20: Schéma de la citerne double paroi à isolation avec évaporateur intégré en bas.	47
Figure IV. 21: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) avec évaporateur en bas à $t=10$ min.	48
Figure IV. 22: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) avec évaporateur en bas à $t=3h17min$	48
Figure IV. 23: Evolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.....	49
Figure IV 24:L'effet de la longueur et la température de l'évaporateur sur l'évolution de la température moyenne du lait.	50
Figure IV. 26: Evolution de la température moyenne du lait pour deux coefficients de convection avec l'extérieur h_0	52

Nomenclature

Lettres latines		Unité
C_p	Chaleur spécifique	J / Kg.K
G_s	Rayonnement solaire	W / m ²
G_{s1}	le rayonnement solaire reçu par la paroi plane 0°	W / m ²
G_{s2}	le rayonnement solaire reçu par la paroi verticale 90°	W / m ²
g	Accélération gravitationnel	m / s ²
h_0	Coefficient de perte convective	W / m ² .K
P	Pression	Pa
T	Température	°C ou K
t	Temps	s ou h
V_v	Vitesse du vent	m / s
V_{vm}	La vitesse moyenne du camion citerne	m / s
x	Coordonnée horizontale	m
y	Coordonnée verticale	m
R	la constante de gaz universel	J/mol K
M_w	Le poids moléculaire du fluide	g/mol
P_{op}	La pression opératoire	Pa
S	Source terme	W
h	Coefficient de convection	W/m ² .k
v	le composante de la vitesse du fluide dans les directions y	m/s
u	le composante de la vitesse du fluide dans les directions x	m/s
Symboles grecs		
α	Coefficient d'absorption	L/mol cm
λ	Conductivité thermique	W/m.K
ρ	Masse volumique	Kg / m ³
μ_t	Viscosité dynamique turbulente	Kg / m.s
μ	Viscosité dynamique	Kg / m.s
Indices		
a	Ambiant	
p	Parois	
m	Moyenne	
v	Vent	

Introduction générale

L'Algérie est le plus important consommateur du lait au Maghreb, avec une consommation moyenne de 145 litres/hab/an. Les algériens consomment annuellement l'équivalent de 5 milliards de litres de lait sachant que la production locale avoisine les 3,5 milliards de litres. L'Algérie importe près de 40% de sa consommation de lait essentiellement sous forme de poudre de lait entier à des prix élevés. [1]

En Algérie, la plupart du lait est produit par des petits producteurs qui sont largement dispersés dans les zones rurales, alors que la majorité des marchés sont concentrés dans les zones urbaines. Le défi logistique de relier les producteurs aux marchés est aggravé par le caractère hautement périssable du lait, qui demande à ce que la collecte et le transport soient effectués dans les conditions les plus simples possibles. Lorsque le transport n'est pas fiable, tout le lait transporté pourrait être gaspillé.

Le lait cru, c'est-à-dire non pasteurisé, pourrait être une source redoutable de microbes et de bactéries qui se multiplient en fonction de la température.

Afin de minimiser l'élévation de la température du lait qui provoque son altération, il est préférable d'utiliser un camion-citerne thermiquement isolé au cours du transport. Grâce à cette isolation, le lait est froid quand il arrive à destination et peu susceptible de tourner avant d'atteindre les usines de traitement.

La limitation majeure de l'utilisation des camions citernes isolés est la durée du transport. Cette dernière est d'une importance primordiale pour assurer la collecte de lait de bonne qualité. Le transport du lait dans les camions-citernes isolés ne peut pas maintenir la qualité et la sécurité du lait pour les distances prolongées. En saison chaude cet inconvénient se manifeste avec plus d'acuité.

Introduction générale

On se trouve donc amené à rechercher une solution assurant au lait un délai prolongé du transport. Refroidir sans modifier les qualités du lait en utilisant un système de refroidissement apparaît être le procédé optimum.

Le but du froid est de conserver le lait en limitant (ou en éliminant) le développement microbien évolue très rapidement dans les conditions climatiques favorables à la reproduction tel que la température.

Le comportement de l'écoulement du lait au sein de la citerne est un facteur principal qui affecte l'efficacité globale du système de refroidissement. Prévoir ce comportement permet d'optimiser l'ensemble du système de refroidissement. Par conséquent, l'utilisation des codes de calcul de la dynamique des fluides (CFD) devient le moyen le plus pratique pour évaluer le comportement thermique de l'écoulement du lait pour améliorer les performances du système de refroidissement.

Dans cette perspective, nous proposons dans le présent travail d'étudier numériquement le comportement thermique et dynamique d'un écoulement thermoconvectif au sein d'une citerne destiné à transporter le lait durant la collecte en utilisant le code commercial Fluent 6.3. La citerne est de type double parois à isolation thermique équipé d'un évaporateur immergé dans le lait pour assurer sa conservation dans une fourchette de température de 4°C à 10°C au cours du transport. Pour mieux appréhender la portée du sujet traité, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres

Le premier chapitre présente des généralités sur le lait tel que: la composition, la conservation et le transport du lait.

Le deuxième chapitre présente une synthèse bibliographique succincte et récente apportée sur les systèmes de réfrigération et les différentes technologies utilisées pour améliorer ses performances dynamiques et thermique .

Le troisième chapitre présente le problème physique étudié, sa modélisation mathématique, les conditions aux limites et climatiques et la résolution numérique.

Introduction générale

Le quatrième chapitre décrit les résultats et les discussions de l'étude numérique d'une citerne du transport du lait. L'influence de différents paramètres, tels que l'effet de l'isolation et l'effet de serpentin sur le rallongement du temps de la conservation .

En fin dans la conclusion, on donne un résumé de l'essentiel des résultats obtenus ainsi que les perspectives.

CHAPITRE I: Généralité sur le lait et le transport du lait

Sommaire

I.1. Introduction	5
I.2. Définition.....	5
I.3. Comparaison des compositions des laits de différentes espèces	5
I.4. Caractères physico-chimiques du lait.....	6
I.5. Les caractères nutritionnels du lait :.....	7
I.6. Qualité organoleptique du lait	8
I.7. La composition microbiologique du lait.....	9
I.8. Conservation du lait à la ferme :.....	11
I.9. Transport à la laiterie:.....	12
I.10. Réception du lait à la laiterie	14
I.11. Le froid	14

I.1. Introduction

L'exploitation du lait des moutons, chèvres et bovins aurait débuté il y a 12 500 ans. La consommation de lait est tellement ancrée dans nos habitudes alimentaires qu'elle nous apparaît quasiment inhérente à la vie humaine. Dans ce chapitre nous allons présenter quelques généralités sur le lait.

I.2. Définition

Le lait est un liquide blanc opaque au goût légèrement sucré. Il est produit par les cellules sécrétrices des glandes mammaires des mammifères. Il est destiné à l'alimentation des nourrissons. C'est un aliment complet qui garantit un apport élevé en protéines, lipides, sels minéraux, dont le calcium et le phosphore, et vitamines.

Le lait cru (figure I.1) est un lait qui n'a subi aucune transformation ou traitements de conservation autres que la réfrigération agricole. La date limite de vente est le lendemain de la traite. Le lait cru doit être bouilli avant consommation car ils contiennent des agents pathogènes [2].



Figure I. 1: Lait cru.

I.3. Comparaison des compositions des laits de différentes espèces :

Le lait sécrété de différentes mammifères partagent des caractéristiques et comprennent des ingrédients de même catégorie tel que: eau, protéines, lactose, matières grasses et minéraux. Cependant, les proportions respectives de ces composants varient d'une espèce à l'autre (tableau 1) [3].

Tableau I. 1: Composition chimique du lait de quelques espèces animales [4] .

Animaux	Eau(%)	Matière grasse (%)	Protéines(%)	Glucide(%)	Minéraux(%)
Vache	87.5	3.7	3.2	4.6	0.8
chèvre	87.0	3.8	2.9	4.4	0.9
brebis	81.5	7.4	5.3	4.8	1
chamelle	87.6	5.4	3.0	3.3	0.7
jument	88.9	1.9	2.5	6.2	0.5

I.4. Caractères physico-chimiques du lait

Les principales propriétés physico-chimiques utilisées dans l'industrie laitière sont: densité, point de congélation, point d'ébullition et acidité. [5].

I.4.1. Point de congélation

Neville et Jensen (1995) ont pu montrer que le point de congélation du lait est légèrement inférieur à l'eau pure car la présence de solides dissous abaisse le point gelé. Mesurer cette propriété physique est nécessaire pour déterminer si de l'eau y a été ajoutée au lait. Le point de congélation a une valeur moyenne comprise entre - 0,54 et - 0,55°C légèrement fluctuant selon la saison, la race bovine et la zone de production. Le mouillage élèvera le point de congélation à 0°C car Le nombre de molécules autres que l'eau et le nombre d'ions par litre diminuent. En général, tout lait transformé ou altéré dans sa composition provoque une modification du point de congélation [6].

I.4.2. Point d'ébullition

Le point d'ébullition est défini comme la température atteinte lorsque la pression de vapeur d'une substance ou d'une solution est égale à la pression d'application. Le point d'ébullition est légèrement supérieur au point d'ébullition de l'eau, soit 100,5°C [5].

I.4.3. Acidité du lait

L'acidité du lait dérive de l'acidité naturelle, due à la caséine, phosphate, dioxyde de carbone et acides organiques et l'acidité formé en raison de la fermentation de l'acide lactique. L'acidité titrable du lait est déterminée avec une solution d'hydroxyde de sodium présence de phénolphtaléine. L'acidité titrable peut être exprimée en grammes ou degrés d'acide lactique par litre de lait Donic (°D). 1°D = 0,1 g d'acide lactique/litre de lait. L'acidité du lait cru collecté doit

être $\leq 21^{\circ}\text{D}$. Lait avec acidité $\geq 27^{\circ}\text{D}$ durcit lorsqu'il est chauffé ; le lait avec une acidité $\geq 70^{\circ}\text{D}$ caille lorsqu'il est froid. [7]

I.4.4. Densité

La densité du lait pour une espèce donnée n'est pas une valeur constante, elle varie d'un d'autre part, proportionnelle à la concentration des éléments dissous et en suspension, en revanche, elle est liée à la proportion de matières grasses. La densité du lait est entre 1030 et 1033 à 20°C , à différentes températures, un correctif s'impose. La densité a été déterminée par un densitomètre à lait thermique.[8]

I.4.5. pH

Étant donné que le lait varie, le pH du lait varie d'une race à l'autre à cause de la variation de la composition chimique, en particulier caséine et phosphate. Le pH du lait est compris entre 6,5 et 6,7.[9]

I.5. Les caractères nutritionnels du lait :

Le lait contient des nutriments essentiels et une importante source d'énergie alimentaire. comme les protéines et la matières grasses de haute qualité. Le lait peut aider les besoins nutritionnels recommandés en calcium, magnésium et sélénium, Riboflavine, vitamine B12 et acide pantothénique. Le lait et les produits laitiers sont des aliments nutritifs et leur consommation peuvent aider à diversifier une alimentation à base de plantes.

Les principaux constituants du lait par ordre croissant selon [10] sont :

- L'eau, très majoritaire,
- Les glucides principalement représentés par le lactose,
- Les lipides, essentiellement des triglycérides rassemblés en globules gras,
- Les sels minéraux à l'état ionique et moléculaire,
- Les protéines, caséines rassemblées en micelles, albumines et globulines solubles,
- Les éléments à l'état de trace mais au rôle biologique important, enzymes, vitamines et oligoéléments.

Tableau I. 2: Composition nutritionnelle moyenne du lait de vache .[11]

Composition	Concentration (g/l)	Etat physique des composants
Eau	905	Eau libre (solvant) plus eau liée (3,7%)
Glucide (lactose)	49	Solution
Lipide Matière grasse proprement dit lécithine(phospholipides) Insaponification (stérol, carotène,tocophérol)	0.5	Emulsion des globules gras (3 à 5 µm)
Protéine Caséine	34	Suspension micellaire
Protéine soluble (globuline, albumines	27 2.5	Phosphocaséinate de Calcium (0,08 à 12 µm)
Substance azotées non protéiques	1.5	Solution (colloïdale) Solution (vraie)
Sels De l'acide citrique (en acide).	9 2	Solution ou état colloïdale
De l'acide phosphorique (P ₂ O ₃)	2.6 1.6	
Du chlorure de sodium (NaCl)		
Constituants divers (Vitamines, enzymes gaz dissous)	Traces	
Extrait sec total	127	
Extrait sec non gras	92	

I.6. Qualité organoleptique du lait

L'apparence, l'odeur, le goût, la texture du lait ne peuvent spécifier uniquement lors de la comparaison avec du lait frais.

I.11.1. Couleur

Le lait est blanc foncé, principalement à cause de la graisse, Pigment de carotène (la vache convertit le B-carotène en vitamine A, directement dans le lait. Il y a deux composants dans le lait, la forme lipidique globules gras et diffraction des protéines sous forme de micelles de caséine léger. Ces agrégats diffusent la lumière sans les absorber. .[12]

I.11.2. Odeur

L'odeur est caractéristique du lait car il contient des matières grasses. Les odeurs sont liés à l'atmosphère de traite, à l'alimentation (les aliments à base d'ensilage favorisent la flore butyrique, puis le lait produit une forte odeur) et à la conservation (acidification du lait avec de l'acide lactique acide). .[13]

I.11.3. Saveur

Le goût du lait frais ordinaire est agréable. Le lait acidifié est frais, un peu épicé. Le lait chauffé (pasteurisé, bouilli ou stérilisé) a un goût faible contrairement au lait cru. Le goût du lait réservé et du lait de mammite est plus salé ou moins préminent, parfois le même gout que le colostrum (alimentation des vaches produits laitiers qui utilisent certaines usines d'ensilage) .[14]

I.11.4. Viscosité

La viscosité du lait est une propriété complexe, Particulièrement affecté par les particules colloïdales émulsionnées et dissoutes. Contenu la graisse et la caséine ont le plus grand effet sur la viscosité du lait. La viscosité dépend aussi des paramètres techniques. La viscosité est une caractéristique importante de la qualité du lait car il existe une forte relation entre les propriétés rhéologiques et la perception de la qualité consommateur .[15]

I.7. La composition microbiologique du lait

Le lait cru, c'est-à-dire non pasteurisé, pourrait être une source redoutable de microbes et de bactéries. Les bactéries du lait peuvent être classées d'une manière fonctionnelle en trois catégories : les germes d'altération, les germes indicateurs et les germes pathogènes.[16]

I.7.1. Germes pathogènes:

Germes dangereux dont la présence n'est pas tolérable : Salmonella typhi, Clostridium botulinum, Mycobacterium bovis et tuberculosis, Brucella abortus.

Germes courants mais dangereux s'ils sont présents en grande quantité : Staphylococcus aureus (portage : sphère bucco-nasale, peau, plaies) Bacillus cereus.

I.7.2. Germes indicateurs

Ce sont des germes indicateurs de l'état microbiologique du lait. Leur dénombrement donne une idée du niveau global de contamination du lait. Bactéries aérobies mésophiles, l'un des indicateurs les plus utilisés en microbiologie du lait puisqu'il permet d'établir une contamination globale. Bactéries coliformes : coliformes fécaux et E. coli. Entérobactéries totales, qui comprennent des pathogènes tels Salmonella et Shigella. Entérocoques : Streptococcus faecalis et faecium qui sont un bon indicateur du niveau d'hygiène d'une usine puisqu'ils résistent bien aux détergents et températures élevées.

I.7.3. Germes d'altération

Ce sont des germes provoquant l'autolyse des aliments, et donc leur altération. Ils ne sont en général pas dangereux pour le consommateur parce que leur présence en grande quantité est visible par l'état du produit (changement d'aspect, odeur désagréable, etc.). Germes psychrotropes : leur développement n'est pas stoppé par la réfrigération. Pseudomonas Achromobacter Flavobacterium Alcaligenes.

I.7.4. Le premier objet de l'emploi du froid est de bloquer les développements microbiens

L'idéal que l'on se propose d'atteindre est de ne pas arriver à 100 000 germes revivifiables au ml, de façon à ce qu'après les transports, on n'atteigne pas le million à l'arrivée à l'usine. Les laits de très bonne qualité bactériologique (à moins de 100 000 bactéries au ml) et maintenus à + 1° C, sont capables d'être gardés plusieurs jours et jusqu'à 1 semaine. En fait, l'efficacité du froid dépend de plusieurs facteurs et, tout d'abord, de la charge microbienne initialen, d'où l'intérêt d'une réfrigération précoce, d'une part, de la propreté et des soins hygiéniques, d'autre part. Par ailleurs, la multiplication des microbes est fonction de la température appliquée ; il faut, donc, agir avec suffisamment d'énergie (figure I.2.). Dans la pratique, s'il y a lieu simplement de conserver les deux traites quotidiennes, on peut ne pas descendre beaucoup au-dessous de 10° C. Mais, si l'on désire maintenir les traites de 48 h, ou plus, il faut, cette fois, atteindre + 2° C / + 4° C.

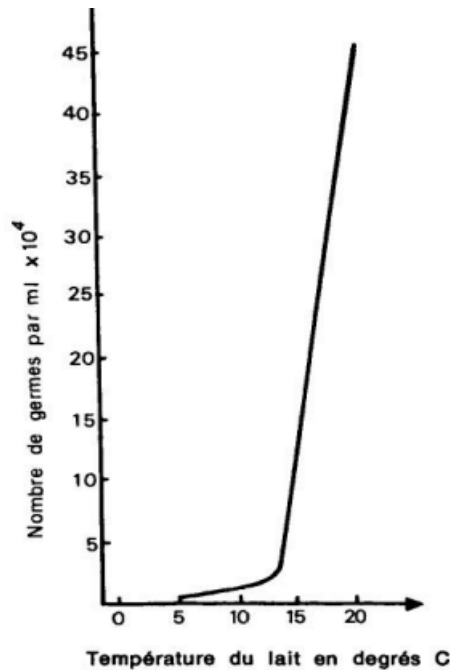


Figure I. 2: Influence de la température de conservation sur la multiplication bactérienne au bout de 24 h.

I.8. Conservation du lait à la ferme :

La température du lait cru est d'environ 37°C lorsqu'il sort de la poitrine, il doit être refroidi rapidement puis conservé immédiatement à une température inférieure ou égale à 4°C [17]. Cette technique a pour objectif de limiter le développement des flores microbiennes pathogènes et d'accroître la durée de conservation [18]

La figure I.3 montre la croissance bactérienne dans le lait en fonction de la température et du temps de réfrigération [19]. Il montre clairement que si la température réfrigérée est maintenue à 4°C et la croissance bactérienne peut être presque arrêtée en 24 heures. Même s'il est stocké pendant 48 heures, la qualité du lait répond toujours aux exigences d'hygiène. D'autre part, s'ils sont réfrigérés pendant le stockage à des températures supérieures à 10°C les bactéries se développeront et se propageront rapidement. Dans la pratique de l'industrie laitière néo-zélandaise, le lait cru est généralement collecté deux fois par jour et conservé à 4-5°C avant prélèvement. Dans cette plage de températures de réfrigération, un lait de haute qualité peut être maintenu, ce qui est avantageux pour les producteurs laitiers et les fabricants de produits laitiers.

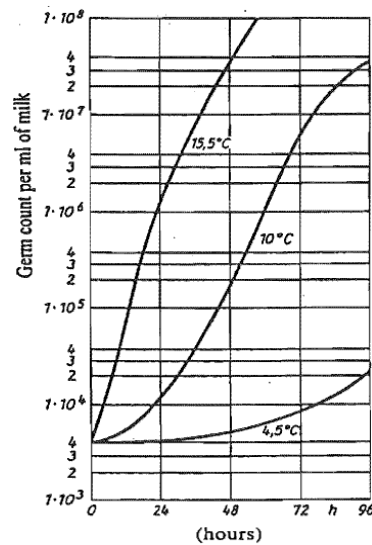


Figure I. 3: Croissance bactérienne en fonction de la température et du temps de refroidissement [19]

Pendant le stockage, le lait doit être agité doucement pour éviter une distribution erratique des graisses due au crémage et pour maintenir une température uniforme dans tout le lait.

I.9. Transport à la laiterie:

Le lait doit être transporté dans des réceptacles réservés au transport des denrées alimentaires. Le matériel de transport doit être conçu, entretenu et utilisé de façon à éviter la contamination du lait et la multiplication de microorganismes. Au cours du transport, la température du lait, facteur de maîtrise des microorganismes, doit satisfaire les normes réglementaires.

La température du lait ne doit pas dépasser 10°C à l'arrivée dans l'établissement de destination. Cela soit en utilisant la chaîne du froid au cours du transport soit au moyen de camions-citernes à isolation thermique [20] Dans le cadre de la collecte, le matériel de transport généralement utilisé est la citerne : lors de la vidange, elle permet un écoulement total du liquide.

I.11.1. Citerne

Elle est habituellement construite en acier inoxydable 18/10 d'une épaisseur de l'ordre de 4 à 5 mm. Ce métal, outre ses bonnes qualités mécaniques, résiste à la corrosion, ce qui permet un excellent nettoyage à l'aide de solutions détergentes alcalines et acides. L'état de surface doit être lisse, glacé à l'intérieur et poli à l'extérieur. Toutes les soudures doivent être soigneusement meulées et polies. Les autres matériaux comme l'aluminium et ses alliages ou les matières plastiques armées ne sont pratiquement jamais utilisés en raison, notamment, des difficultés de leur assurer une propreté bactériologique satisfaisante.[21]

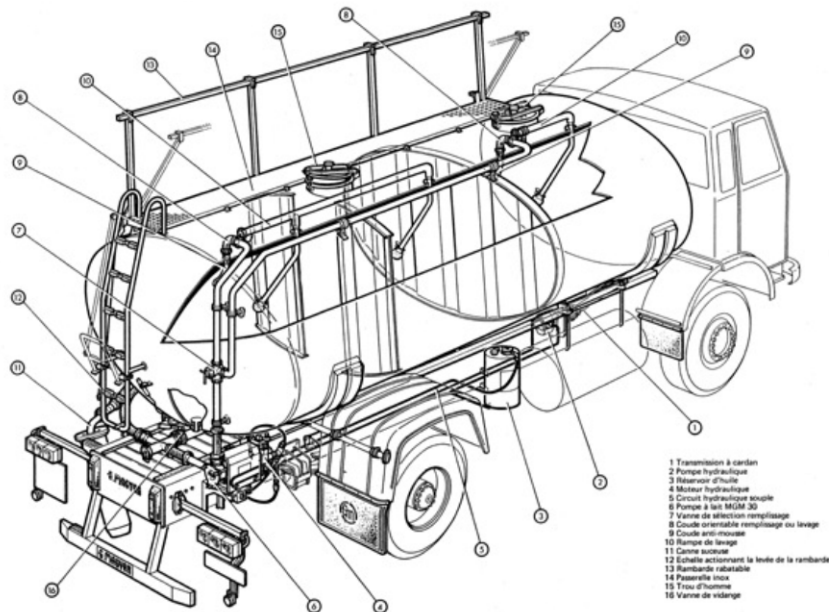


Figure I. 4: Camion-citerne, détails de construction (Cliché MAGYAR)[21].

I.11.2. Isolation des citernes et des tanks réfrigérants

Les réservoirs de collecte n'ont pas besoin d'être isolés car il a été démontré qu'en trois heures, le temps normal pour un tour, et dans la chaleur la plus forte, la différence n'est pas supérieure à trois dépenser. Par contre, si le transport est nécessaire, l'isolation est nécessaire. Faites-le à distance. Cette isolation peut faire en laine de verre, liège expansé ou polyuréthane double paroi, Ou à travers un revêtement vinyle projeté sur le mur. Les chars peuvent également recouvert d'une bâche en nylon rembourrée. Pour les réservoirs, la paroi extérieure doit être présente l'isolation et la solution idéale est un sandwich composé de deux viroles fines en acier inoxydable avec injection Polyuréthane à cellules fermées internes, évitant ainsi Phénomènes électrolytiques établis avec le cuivre, zinc ou de fer, et rapidement de marche [22].

I.11.3. L'acier inoxydable, matériau indispensable

Dans le monde entier (Europe, Amérique, Australie, Indes, etc.). Il existe des normes officielles qui spécifient pour la construction de tous les équipements en contact avec le lait, l'acier inoxydable à l'exclusion de tout autre matériau. L'acier inoxydable possède en effet un certain nombre de qualités essentielles, du point de vue sanitaire, économique et esthétique.

L'alliage 304 correspond à l'acier inoxydable "18-8" original. C'est l'acier inoxydable austénitique le plus répandu. Il résiste à la corrosion dans divers environnements allant d'un milieu modérément réducteur à un milieu modérément oxydant. Grâce à l'ajout contrôlé d'azote,

il arrive fréquemment que le type 304/304L possède les mêmes propriétés mécaniques que le type 304. Ainsi, la plupart des produits sont homologués en tant que 304 et 304/304L [22].

I.10. Réception du lait à la laiterie

Les laiteries sont équipées de station de réception qui prend en charge le lait provenant des exploitations laitières. La première tâche effectuée à la réception est la mesure de la quantité du lait. La quantité est enregistrée et entrée dans le système de pesage que la laiterie utilise pour peser le lait à l'entrée et le comparer à la sortie. La quantité du lait à l'entrée peut se mesurer en volume ou en poids.

Contrôle à la réception: Les épreuves éliminatoires à la réception sont les suivantes : Le premier contrôle à opérer pour décider si le lait est acceptable ou non consiste à vérifier son odeur. Il doit être fait par un réceptionniste bien entraîné aussitôt le couvercle enlevé du bidon. Il permet en générale de dépister un début de fermentation et d'autres odeur anormales.[20]

- Epreuve de précipitation par l'alcool (éthanol à 68%) ;
- Epreuve de l'acidité titrable ;
- Epreuve de l'ébullition ;
- Détermination du pH ;

I.11. Le froid

I.11.1. Définition

C'est la sensation causée par l'absence, la perte ou la diminution de la chaleur. Le froid est pour la chaleur, tout comme l'obscurité est pour la lumière. Le froid est un mot négatif. Il indique simplement l'absence ou la réduction de calories. Un objet est dit "froid" s'il est en contact thermique avec un autre objet à plus haute température et est susceptible de recevoir de la chaleur de cet objet. Le transfert de chaleur naturel se produit toujours du niveau de haute température T_a au niveau de basse température T_b .

I.11.2. Les composantes d'installation frigorifique

I.11.2.1. Le compresseur

Compresseur à piston : Un ou plusieurs pistons coulissant de manière étanche sont utilisés dans le cylindre pour comprimer le fluide réfrigérant, qui pénètre dans le cylindre par un volet ou une soupape en raison de l'aspiration générée par le recul du piston. Fonction de

compression du réfrigérant d'un niveau de pression d'évaporation faible à un niveau de pression de condensation élevé. Il doit garantir le débit de transfert nécessaire (débit massique) pour la puissance frigorifique requise.

Il existe 3 principaux types de compresseurs utilisés pour générer du froid ou de la chaleur :

- a) **Compresseur à piston** : Un ou plusieurs pistons coulissant de manière étanche sont utilisés dans le cylindre pour comprimer le fluide réfrigérant, qui pénètre dans le cylindre par un volet ou une soupape en raison de l'aspiration générée par le recul du piston.

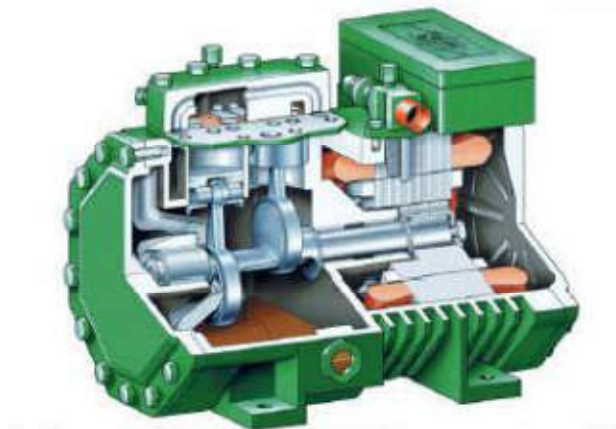
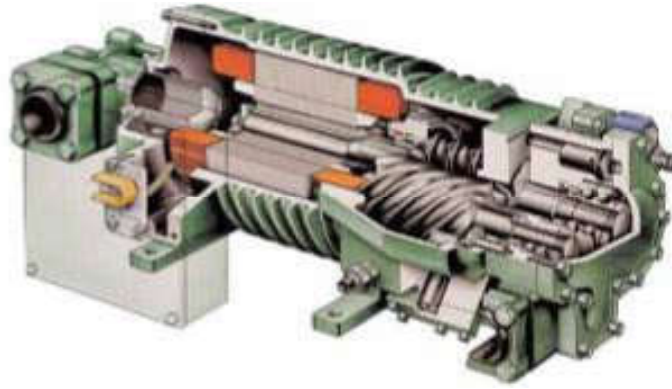


Figure I. 5: Compresseur semi-hermétique à piston

- b) **Compresseur à vis** : Une vis sans fin tourne pour comprimer le gaz entre le cylindre et une pièce rotative qu'elle entraîne.
- c) **Compresseur scroll** : Un rotor sous forme de spirale comprime le gaz en continu en tournant autour d'une autre spirale fixe.



(a)



(b)

Figure I. 6: (a) Schéma Compresseur à vis (b) compresseur scroll (source Copland)

I.11.2.2. Le condenseur

Le condenseur sert à transmettre au médium de refroidissement (air et eau) La chaleur contenue dans les vapeurs par le compresseur. La quantité de chaleur a évacué comprend :

- La chaleur latente de liquidation
- La chaleur sensible des vapeurs surchauffées
- La chaleur sensible du liquide jusqu'à une température se rapprochant le plus possible de cette des médiums de refroidissement.

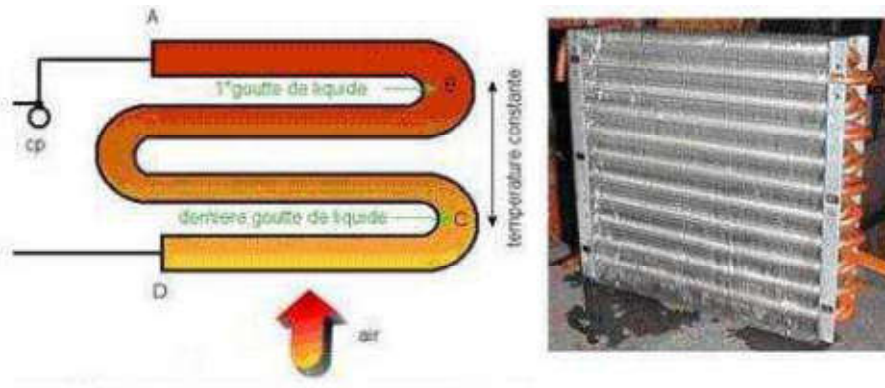


Figure I. 7: schéma condenseur

I.11.2.3. Le détendeur

Est un élément passif du circuit frigorifique mais essentiel pour réaliser le cycle de compression/détente permettant de transférer les calories ou frigories de l'évaporateur au condenseur.



Figure I. 8: schéma détendeur

I.11.2.4. L'évaporateur

Les évaporateurs font résonner les échangeurs de chaleur au même titre que les condenseurs, ils assurent le flux de chaleur du milieu à refroidir vers le fluide frigorigène, ce flux de chaleur a pour effet de vaporiser le fluide frigorigène liquide contenu dans l'entretien. Évaporateur. Contrairement aux évaporateurs à condenseur, les évaporateurs se font à température constante en libérant la chaleur latente d'évaporation du flux de chaleur.

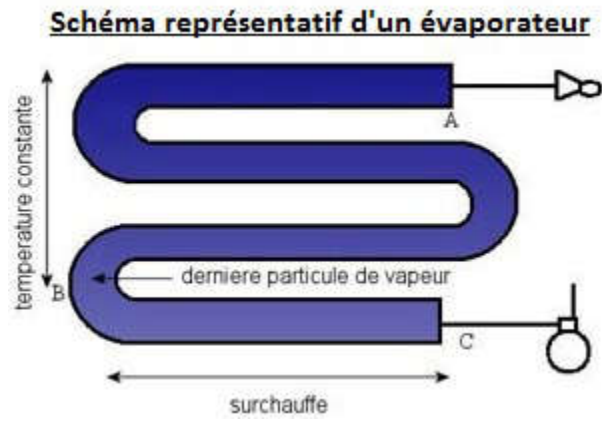


Figure I. 9: Schéma d'évaporateur

CHAPITRE II:

Recherche bibliographique

Sommaire

II. 1.	Introduction.....	20
II. 2.	Le stockage	20
II. 3.	Application de CFD dans les systèmes de réfrigérations	20
II. 4.	Méthodes de réfrigération	22
II. 5.	Importance du temps de refroidissement.....	24

II. 1. Introduction

La réfrigération est une méthode utilisée pour préserver les propriétés biologiques des aliments afin de stocker les aliments à basse température, ce qui rend difficile la croissance de micro-organismes dans les aliments.

Cela nous amène à appliquer cette technologie à la matière première du lait, dont on sait qu'elle se détériore et se transforme rapidement, et il existe donc de nombreuses méthodes de refroidissement, parmi lesquelles nous choisirons la meilleure pour préserver cette matière.

II. 2. Le stockage

Le froid est plus particulièrement la réfrigération, constitue l'un des moyens les plus utilisés pour prolonger le délai de la consommation du lait, donc il est indispensable de maîtriser cette technique. L'objectif de ce travail était d'analyser l'influence de la durée et la température du stockage sur les caractéristiques physico-chimique, bactériologique et organoleptique du lait.

Le mouillage a été moins marqué au cours du stockage, que ce soit le type du lait ou la température. La densité et la conductivité électrique ont été augmentées dans le lait cru où l'augmentation la plus importante a été enregistrée après sept jours de conservation à 7°C, tandis qu'elles restent stables dans le lait entier usiné et reconstitué. La Conductivité électrique était positivement corrélée avec l'augmentation de la température du stockage, et avec la teneur en acide lactique ($p < 0,05$), ce qui leur a permis d'être utilisé comme un indicateur d'altération du lait conservé à froid. La matière grasse a été diminuée significativement au cours du stockage dans les 3 types du lait, alors que le stockage à froid n'affecte pas les protéines dans le lait entier ou reconstitué. le risque de la protéolyse est signalé depuis le premier jour du stockage seulement dans le lait cru, avec charges moyennes supérieures à 10^6 UFC ml-1. En conclure que la conservation à froid du lait est soumise aux bonnes conditions hygiéniques de la collecte et aux bonnes pratiques industrielles. [23]

II. 3. Application de CFD dans les systèmes de réfrigérations

La détérioration des produits agroalimentaires est un problème majeur dans l'industrie. Le refroidissement est une technique efficace pour prolonger la durée de conservation des produits agroalimentaires frais afin de minimiser la détérioration. En

raison de l'impossibilité pratique de résoudre directement les grandes échelles spatiales et temporelles dans les grands systèmes de refroidissement industriels agroalimentaires, l'approche du milieu poreux est principalement utilisée. Cependant, les améliorations des modèles actuels des modèles moyens et une modélisation à des échelles beaucoup plus larges sont nécessaires pour mieux comprendre processus de refroidissement multi-échelles et problèmes de système. Récemment, en raison de l'augmentation des capacités de calcul, des approches de modélisation multi-échelles de la dynamique des fluides computationnelle (CFD) ont été développées pour relever certains de ces défis. Les problèmes associés et les applications de la CFD dans la conception et l'optimisation des processus et des systèmes de refroidissement à différentes échelles sont prises en compte. Solution CFD et techniques de pontage d'échelle pertinentes pour la gestion des processus de refroidissement à plusieurs échelles et les problèmes de systèmes sont discutés. Applications innovantes de diverses modélisations CFD techniques à différentes échelles dans les processus et les systèmes de refroidissement sont passées en revue. Techniques de modélisation CFD peut être utilisé pour gérer les processus de refroidissement multi-échelles et les problèmes de système. Les informations de CFD multi-échelles pourraient être utilisées pour améliorer la précision des modèles moyens, et donc la conception de systèmes de refroidissement plus efficaces. [24]

La réfrigération ralentit les processus chimiques et biologiques dans les aliments, tels que la détérioration et la perte de qualité, prolongeant la durée de conservation des produits.

Le refroidissement des aliments est effectué avec des systèmes de réfrigération mécaniques ou avec de la glace ; la température du produit est abaissée à 0-8 °C, selon le type d'aliment. Le milieu de refroidissement dans les refroidisseurs à refroidissement mécanique peuvent être à air, à eau ou à surfaces métalliques ; fonctionnement discontinu ou continu est possible lors de l'utilisation de systèmes de réfrigération mécaniques, tandis que le fonctionnement par lots est utilisé dans les systèmes de refroidissement à glace.

Les armoires de réfrigération de détail utilisent de l'air froid, distribué par convection naturelle ou forcée. Les armoires de réfrigération à façade ouverte utilisent des rideaux d'air afin d'empêcher les infiltrations de chaleur de l'air dans l'armoire ; la bonne conception des rideaux d'air impose une connaissance approfondie la dynamique des fluides de l'armoire.

La simulation CFD a été appliquée comme étude de cas pour une armoire de réfrigération. La simulation a conduit à la conclusion que, pour les étagères inférieures, la température est supérieure d'au moins 4 °C à celle requis par les normes, alors qu'il y avait une différence de température de 6°C entre le haut et étagères inférieures de l'armoire; entre-temps, la simulation a montré la non-uniformité de la rideau d'air à proximité de la grille d'aération de la base. L'intensité et la température de la turbulence étaient plus haut à l'arrière de l'armoire. [25]

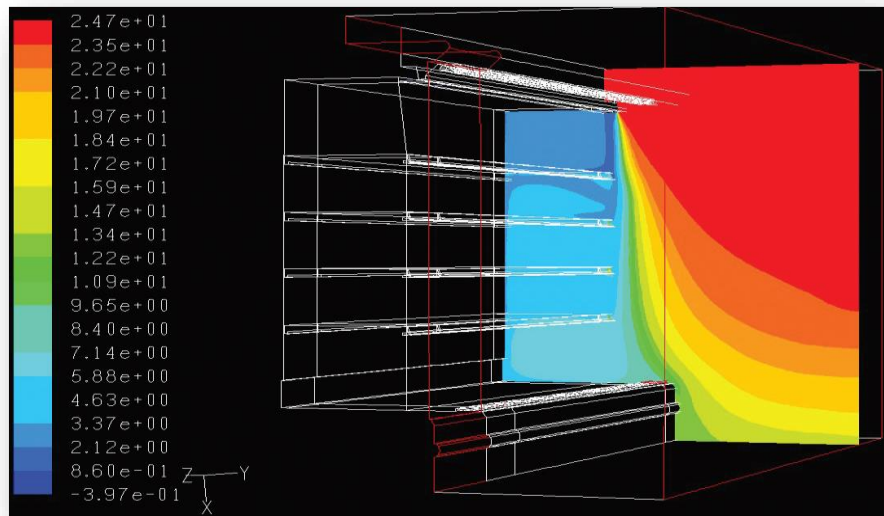


Figure II. 1: Champ de température dans le plan droit de l'armoire, à la fin de la simulation de 6 min [°C][25].

II. 4. Méthodes de réfrigération :

II.4.1. Réfrigération avec saumure:

Pour un stockage à froid maximal, la saumure pourrait être refroidie jusqu'à son point de congélation. En réalité, cependant, la température de la saumure n'est pas abaissée en dessous de -10 °C dans les installations de réfrigération à l'ammoniac, parce que le volume de réfrigérant en circulation serait trop faible à faible évaporation température et l'installation ne fonctionnerait pas économiquement. Par conséquent, la température de la saumure n'est réduit qu'à des niveaux pratiques. La réfrigération à la saumure présente certains inconvénients :

- a) Agressif envers les métaux
- b) Risque de gel dans les refroidisseurs en circuit fermé

- c) Pertes importantes dans les réseaux de canalisations qui fuient
- d) Capacité de stockage relativement faible par kg de saumure

Les avantages sont un différentiel de température élevé entre le réfrigérant et le produit à refroidi, une plus petite surface d'échange de chaleur et une plus petite capacité du réservoir de stockage. [26]

II.4.2. Réfrigération par eau glacée:

laiteries comme moyen de refroidissement pour le stockage. Les coûts (par rapport au refroidissement par saumure) sont de 30 –40% plus élevé.

- L'eau glacée est de l'eau douce refroidie à une température de ± 0 à $\pm 0,5$ °C.

Les avantages du refroidissement par eau glacée sont :

- a) Pas de corrosion dans le système d'eau de refroidissement
- b) Haute capacité
- c) Aucun risque de gel dans les refroidisseurs à circuit fermé
- d) Coûts négligeables en cas de fuite
- e) Utilisation efficace des tarifs d'électricité bas

Les inconvénients sont de faibles différences de température, des débits plus élevés à travers le refroidissement système et de plus grandes surfaces d'échange de chaleur.

Production d'eau glacée. Dans un bassin, adapté à la capacité calorifique requise, tubes ou plaques chauffantes les échangeurs sont installés comme évaporateurs et sont totalement immergés dans l'eau. Sans circuler l'eau, une couche de glace de 30 -40 mm d'épaisseur se forme sur les tubes ou plaques. C'est important qu'aucun bloc de glace ne se forme et que l'eau peut circuler librement entre les éléments de glace. La glace est gelée en trois étapes (figure II.2)

- a) Evacuation de la chaleur du liquide, c'est-à-dire refroidissement de l'eau à 0 °C, c'est-à-dire 41,9 kJ/kg pour eau à 10°C.

b) Élimination de la chaleur de fusion/chaleur de solidification de 335 kJ/kg sans aucune température monnaie.

c) Surfusion de la glace à -3 °C, pour laquelle 6,28 kJ/kg sont nécessaires (chaleur spécifique de la glace est de 2,09 kJ/kg °K).

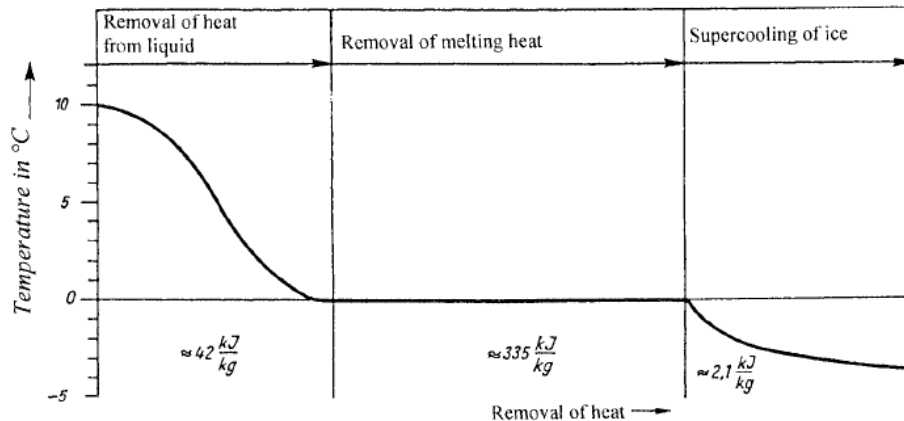


Figure II. 2: Evacuation de la chaleur lors de la formation de glace.[26]

II. 5. Importance du temps de refroidissement

Il existe en général deux facteurs qui inhibent le développement microbien croissance : facteurs intrinsèques (nutriments, inhibiteurs, microorganismes concurrents, activité de l'eau et pH) et facteurs extrinsèques (température, humidité relative de l'environnement et niveau d'oxygène) . Dans le cadre de ce travail, l'effet de la température, qui peut être contrôlé par refroidissement, était à l'étude.

La croissance microbienne est rapide lorsque les aliments sont conservés dans les températures ambiantes comprises entre 5 °C et 60 °C, ce qui fournit des conditions idéales pour les micro-organismes pathogènes, pour plus moins de 2 heures Étant donné que les denrées alimentaires se trouvent généralement dans ces gammes de température avant d'être inséré dans les réfrigérateurs, le temps pour abaisser leurs températures à partir de la température ambiante aux niveaux de température de croissance minimum est cruciale pour

prolonger leur durée de conservation. Cela devrait être aussi rapide que possible; car, le refroidissement rapide empêche la grande cristallisation de l'eau dans les aliments et cause donc moins de dommages dans les membranes cellulaires et dans la structure tissulaire de l'aliment. En conséquence, la croissance microbienne dans la nourriture est retardé qui

diminue enzymatique et respiratoire activité et réduit la perte d'humidité. Ainsi, la détérioration est réduite et la fraîcheur et la qualité des aliments sont prolongées. [27]

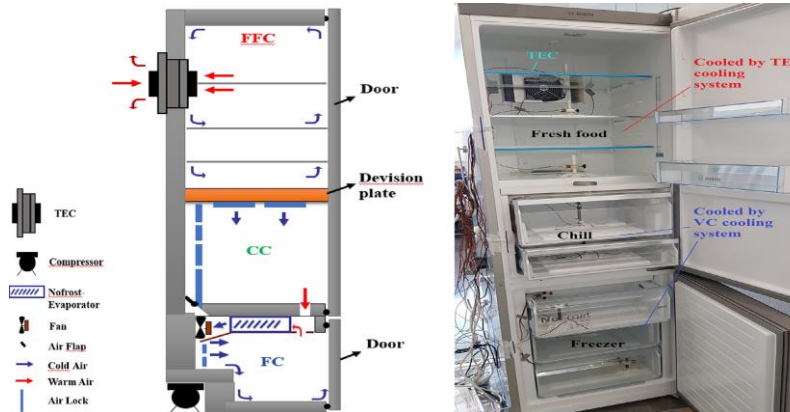


Figure II. 3: Les spécifications et les systèmes de refroidissement du réfrigérateur testé. [28]

**CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et
résolution numérique**

Sommaire

III.1. Introduction.....	27
III.2. Géométrie du problème	27
III.3. Modélisation mathématique et conditions aux limites	29
III.4. Résolution numérique.....	33
III.5. Conclusion	33

CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et résolution numérique

III.1. Introduction

Un camion citerne est un véhicule équipé d'une cuve permettant de charger, décharger, transporter ou stocker pour des durées prolongées des produits (aliments, eau, combustibles, produits chimiques, etc.) à l'état liquide, gazeux et parfois solide.

Notre travail porte sur une analyse numérique en utilisant l'outil numérique Fluent 6.3. d'une citerne destinée à transporter le lait crue durant la collecte. Dans ce chapitre nous présentons la géométrie du modèle et les équations gouvernantes qui régissent le phénomène de l'échange thermique entre les différents composants de la citerne. Les conditions aux limites adoptées sont aussi présentées.

III.2. Géométrie du problème

La géométrie de la citerne considérée est présentée sur la figure III. 1. Elle s'agit d'une cuves cylindriques double paroi en acier inoxydable d'une longueur de 3.672 m et de diamètre de 1m, l'épaisseur de chaque paroi en acier est 0.004m, les parois doivent présenter une épaisseur suffisante afin d'être assez résistantes. Le polyuréthane ($\lambda=0.025\text{W/mK}$) d'épaisseur 0.032 m est utilisé pour isoler thermiquement la citerne. Il est plaquée tout autour de la cuve entre les deux parois en acier. La citerne est considérée comme rempli totalement par le lait à une température de 4°C (la température du lait à la sortie de la ferme).

Pour simplifier l'étude, nous supposons que le camion qui porte la citerne se circule dans une seul direction (ox), à cet effet le rayonnement solaire est incident que sur la paroi supérieur et la paroi gauche de la citerne.

Le rayonnement solaire absorbé par la citerne est transformé en chaleur, une partie de cette chaleur est transférée par convection vers l'air à l'extérieur. L'autre partie est transférée vers le lait à l'intérieur conduisant à une augmentation de sa température. Une température au delà de 10°C provoque l'altération du lait.

Un évaporateur en acier inoxydable sous forme d'un serpentins de longueur de 3.98m et une épaisseur de 0.02m est immergé dans le lait. L'évaporateur est destiné à maintenir la température du lait dans une fourchette de 4°C à 10°C.

Le mouvement du lait est généré uniquement par des différences de densité dans le fluide dues aux gradients de température.

CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et résolution numérique

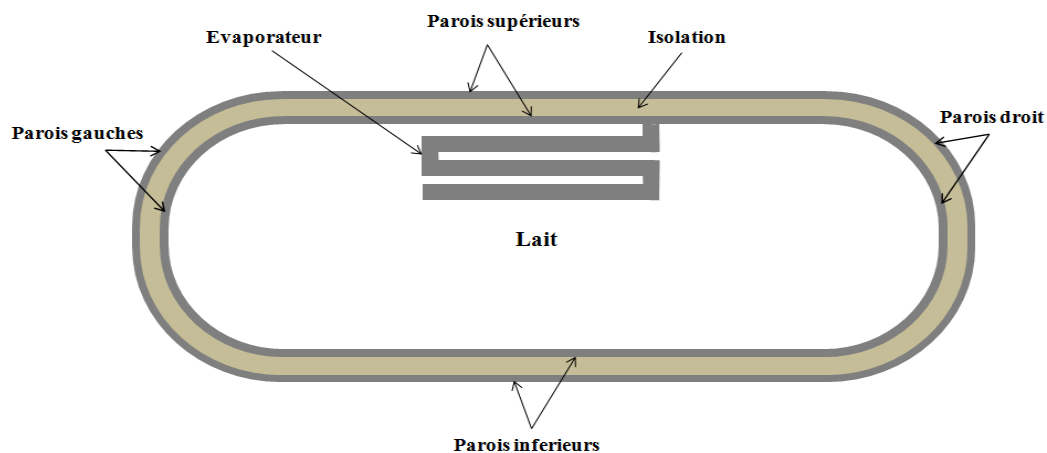


Figure III. 1: Présentation de la citerne avec évaporateur.

Les dimensions de la citerne étudiée et les propriétés thermophysiques des différents composants sont présentées dans les tableaux III. 1 et III. 2, respectivement.

Tableau III. 1: Paramètres de conception de la citerne.

Paramètre	Valeur (m)
Longueur	3.672
Hauteur	1.005
Épaisseur de l'acier	0.004
Épaisseur de l'isolant	0.032

Tableau III. 2: Propriétés thermophysiques.

	ρ (Kg/m ³)	Cp (J/Kg.K)	λ (W/m.K)	$\mu \cdot 10^{-5}$ (kg/m.s)	épaisseur (m)	α
Acier-inoxydable	8010	500	15	/	0,04	0.45
Lait	1027.85	3889.4	0.56	88.03	/	/
Polyuréthane	40	1000	0.025	/	0.032	/

III.3. Modélisation mathématique et conditions aux limites

III.3.1 Hypothèses simplificatrices

Pour la solution CFD, les hypothèses simplificatrices suivantes ont été adoptées:

- L'écoulement est supposé bidimensionnel, instationnaire et en régime laminaire.
- Le fluide est supposé incompressible, visqueux et newtonien.
- Les propriétés thermophysiques du lait et des composants de la citerne sont considérées constantes hormis la densité du lait est variable.
- L'effet de la pression sur la densité est négligé dans ce cas et la densité est calculée par une approximation qui prends en considération que l'effet de la température selon l'équation suivante :

$$\rho = \frac{P_{op}}{\frac{R}{M_w} T} \quad \text{III.1}$$

R: la constante du gaz universel

M_w : le poids moléculaire du lait

P_{op} : la pression opératoire

III.3.2 Modèle mathématique

Les équations différentielles décrivant le phénomène physique sont basées sur les principes de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Des conditions aux frontières et ou des conditions initiales viennent compléter ces équations, rendant la solution du système unique. Les équations s'écrivent comme suit :

a) Dans lait

- Equation de la continuité

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad \text{III.2}$$

Ou u et v représente les composantes de la vitesse du fluide dans les directions x et y , respectivement

CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et résolution numérique

- Equation de la quantité de mouvement

Suivant l'axe ox

$$\frac{\partial(u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad \text{III. 3}$$

Suivant l'axe oy

$$\frac{\partial(v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad \text{III.4}$$

- Equation d'énergie

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad \text{III. 5}$$

b) Equation de conservation d'énergie dans les solides

En ce qui concerne le transfert de chaleur dans les milieux solides (parois en acier, isolant et évaporateur), l'équation gouvernante s'écrit :

$$\left(\rho_i C_{pi} \right) \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_i \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} \right) + S_T \quad i=1, 2, 3 \quad \text{III. 6}$$

Le terme S_T représente le terme source. Afin de tenir compte du flux radiatif reçu par la paroi (supérieure et gauche) de la citerne, une génération volumique et uniforme de chaleur $G_{s1} \alpha_p$ est appliquée dans le domaine de la paroi supérieur et $G_{s2} \alpha_p$ dans le domaine de la paroi gauche.

III.3.3 Conditions initiales et les conditions aux limites

a) Conditions climatiques

Les données climatiques d'une journée de mois d'août dans la région nord-ouest de l'Algérie (Tlemcen) ont été choisies. Une base de données climatique [29] fournit les données horaires moyennes (température ambiante, vitesse du vent...) pour n'importe quel jour de l'année. L'évolution horaire du rayonnement solaire global reçu sur une paroi horizontale de 0° et une paroi verticale de 90° pour le mois d'Aout a été choisie à partir [30]. L'évolution horaire de la température de l'air ambiant et du rayonnement solaire est présentée dans la figure III. 2, et approximé par les équations III. 7, III. 8 et III. 9 respectivement. Ces modèles

CHAPITRE III: Modèle Physique, Formulation Mathématique et résolution numérique

mathématiques ont été proposés par W. Chen [31] et modifiés en fonction des données de la région de Tlemcen.

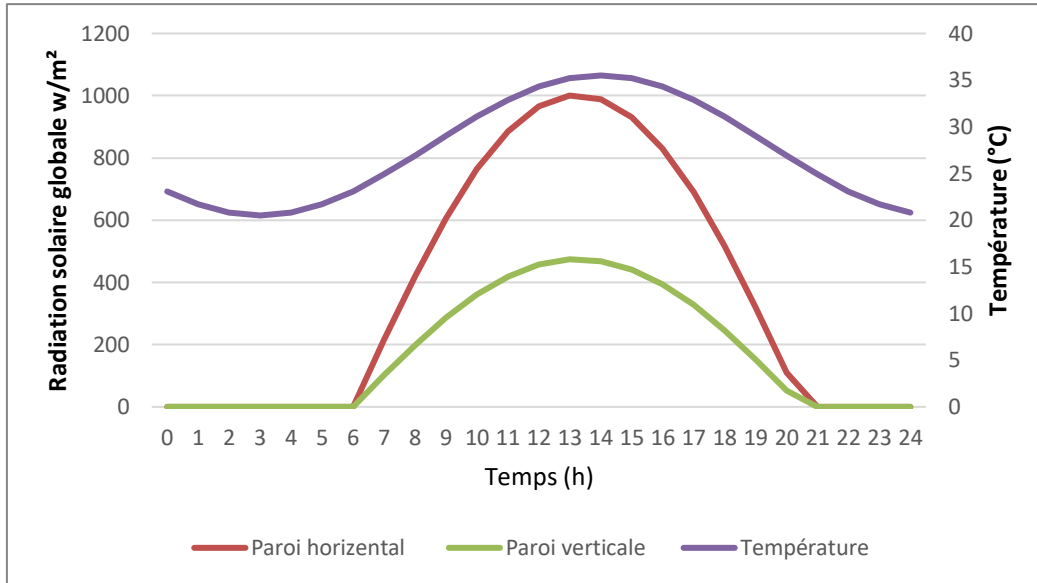


Figure III. 2: L'évolution horaire de la température et le rayonnement solaire .

$$T_a(t) = 28 + 7 \cos \left[\frac{\pi}{11} (t - 14) \right] \quad \text{III. 7}$$

$$G_{s1} = 1068 \sin \left[\pi \frac{t-6}{14.5} \right] \quad \text{III. 8}$$

$$G_{s2} = 475 \sin \left[\pi \frac{t-6}{14.5} \right] \quad \text{III. 9}$$

G_{s1} le rayonnement solaire reçu par la paroi plane 0° .

G_{s2} le rayonnement solaire reçu par la paroi verticale 90°

La citerne est exposée au rayonnement solaire durant la période entre 5h et 19h.

b) Condition aux limites

La résolution numérique du modèle mathématique adopté est conditionnée par les conditions initiales et les conditions aux limites appliquées aux frontières du domaine. Le fluide dans la citerne est initialement au repos et à une température uniforme égale à 4°C .

Les différentes conditions appliquées dans notre étude sont illustrées dans la figure III.3.

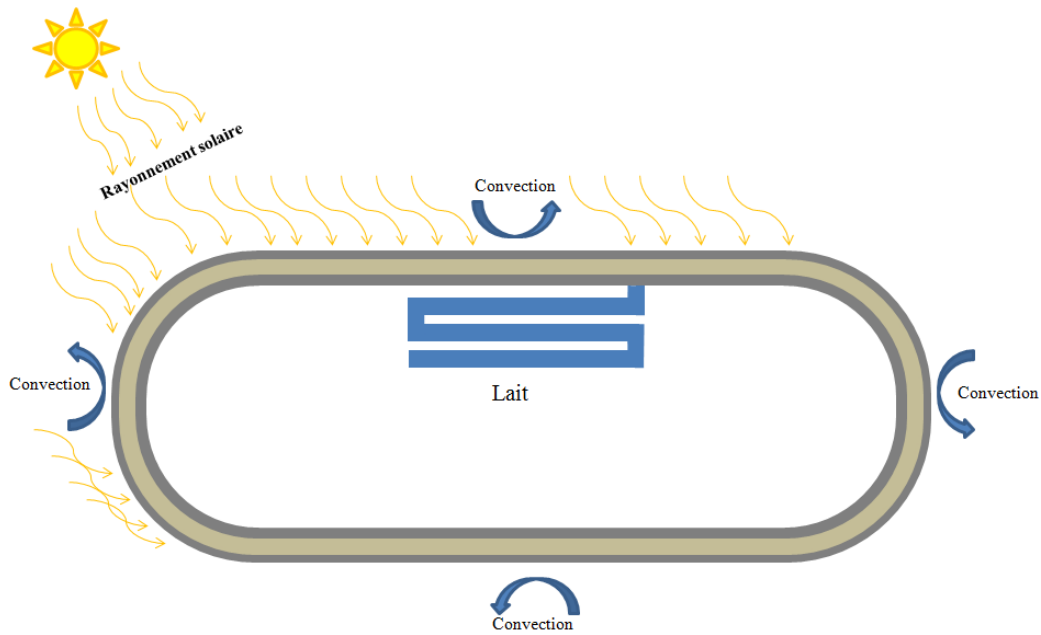


Figure III. 3: Présentation des conditions aux limites.

❖ **Les parois latérales de la citerne:**

Les surfaces latérales extérieures de la citerne sont exposées à la convection (pertes convectives). Le flux thermique perdu par convection peut être évalué par :

$$-\lambda_p \frac{dT}{dy} = h_0(T_p - T_a) \quad \text{III. 10}$$

T_p est la température des parois extérieures et T_a est la température ambiante. h_0 désigne le coefficient d'échange par convection avec l'air ambiant.

$$h_0 = 2.8 + 3V_v \quad \text{III. 11}$$

V_v est la vitesse du vent prise égale à 3.05 m/s vitesse moyenne du vent à Tlemcen durant la période du mois d'Août (si le camion-citerne est en stationnement).

V_{vm} est la vitesse moyenne du camion-citerne est en route égale à 70km/h (la vitesse du vent est supposée égale à la vitesse moyenne du camion-citerne).

$$h_1 = 2.8 + 3V_{vm} \quad \text{III. 12}$$

❖ Une condition dynamique d'adhérence à la paroi ($u = v = 0$) est imposée sur toutes les parois intérieures de réservoir.

III.4. Résolution numérique

Dans le présent travail, le calcul sera effectué à l'aide du code de calcul « FLUENT » 6.3 qui est basé sur la méthode des volumes finis.

Les termes convectifs et diffusifs sont discrétisés avec un schéma amont du second ordre (second order upwind). L'algorithme SIMPLE de Patankar et Spalding (1972) a été utilisé pour résoudre le couplage vitesse-pression. La solution était considérée comme convergente lorsque les résidus étaient de l'ordre de 10^{-6} pour toutes les équations. Le taux de production de chaleur par unité de volume dans l'absorbeur et la variation journalière de la température sont introduits dans Fluent par une fonction utilisateur (UDF). Toutes les simulations ont été réalisées sur un processeur i7-4700MQ CPU 2,4 GHz et 8 Go de RAM.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la géométrie du problème ainsi que les propriétés physiques des différents composants d'une citerne destinée à transporter le lait. Ensuite, nous avons spécifié les équations mathématiques gouvernantes qui régissent le phénomène d'écoulement d'un fluide à l'intérieur d'une citerne. Enfin, nous avons spécifié les conditions aux limites de toutes les frontières de la géométrie. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les résultats de la simulation numérique afin de mieux comprendre le comportement de l'écoulement du lait à travers la citerne.

CHAPITRE IV: Résultats et interprétations

Sommaire

IV.1.	Introduction.....	35
IV.2.	Présentation du code de calcul.....	35
IV.3.	Test de maillage et de pas du temps.....	36
IV.4.	Validation du modèle numérique.....	37
IV.5.	Etude préliminaire d'une citerne construite d'une seule couche d'acier.....	38
IV.6.	Citerne double paroi à isolation thermique.....	42
IV.7.	Citerne double paroi à isolation thermique avec évaporateur immergé.....	46
IV.8.	Efficacité de l'évaporateur sous des conditions climatiques variables.....	55
IV.9.	Conclusion.....	56

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter une validation du modèle physique et mathématique présenté dans le chapitre précédent à travers l'analyse de l'indépendance du maillage et du pas de temps et d'une comparaison de nos résultats avec des travaux publiés sur le sujet.

Nous allons présenter dans une première partie une étude préliminaire d'une citerne construite d'une seule couche d'acier et remplie de lait. Puis dans la deuxième partie nous allons présenter le cas de la citerne isolée et refroidie par un évaporateur immergé. Enfin, l'influence de la position, la longueur et la température de l'évaporateur sur le temps de refroidissement va être évaluée.

IV.2. Présentation du code de calcul

Pour connaître l'évolution et le changement de température à l'intérieur de la citerne de transport de lait, nous avons utilisé le code commercial Fluent. Ce solveur offre toutes les capacités physiques nécessaires pour la modélisation des écoulements fluides. Il est très adapté pour résoudre les équations de conservation dans des géométries complexes.- Pour les différentes simulations réalisées, nous avons utilisé un maillage structuré avec des volumes quadrilatères du domaine calcul du réservoir de lait . La figure IV. 1 donne un aperçu du maillage utilisé.

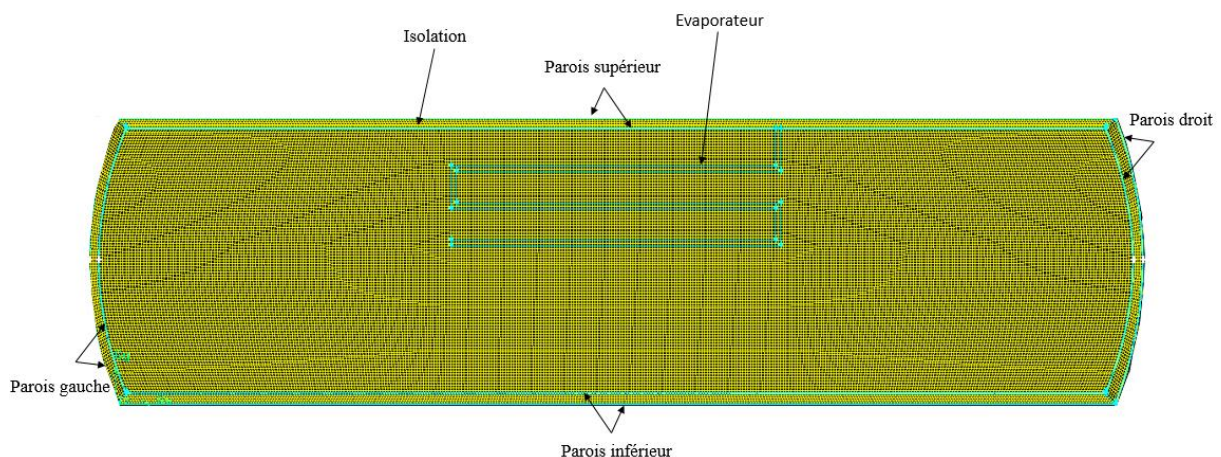


Figure IV. 1: schéma d'une citerne de transport du lait .

IV.3. Test de maillage et de pas du temps

Une étude d'indépendance du maillage a été réalisée pour la citerne afin de vérifier l'exactitude des résultats numériques. Le profile de température de lait au milieu de la citerne et à $t = 12\text{min}$ et 9s était le paramètre choisi à analyser. Pour cela nous avons analysé trois grilles qui correspondent à un nombre total de 2955 ; 37280 et 45826 nœuds, voir figure IV.2.

Comme le tableau IV. 1 l'indique, les écarts obtenus par les deux grilles 37280 et 45826 nœuds sont très faibles, nous avons donc adopté pour nos calculs le maillage avec 37280 nœuds qui offre un bon accord entre la précision et le temps du calcul. Par ailleurs, trois pas de temps (10,1 et 0.1s) ont été testés sur la grille adoptée; nous avons retenu la valeur $\Delta t=1\text{ s}$ avec un maximum d'itération de l'ordre de 500 dans chaque pas du temps, voir figure. IV.4.

Tableau IV. 1: Test d'indépendance du maillage: comparaison de la température au centre de la citerne pour différents maillages.

Nombre de nœuds	2955	37280	45826
Température moyenne (°C)	18.66	17.52	17.55

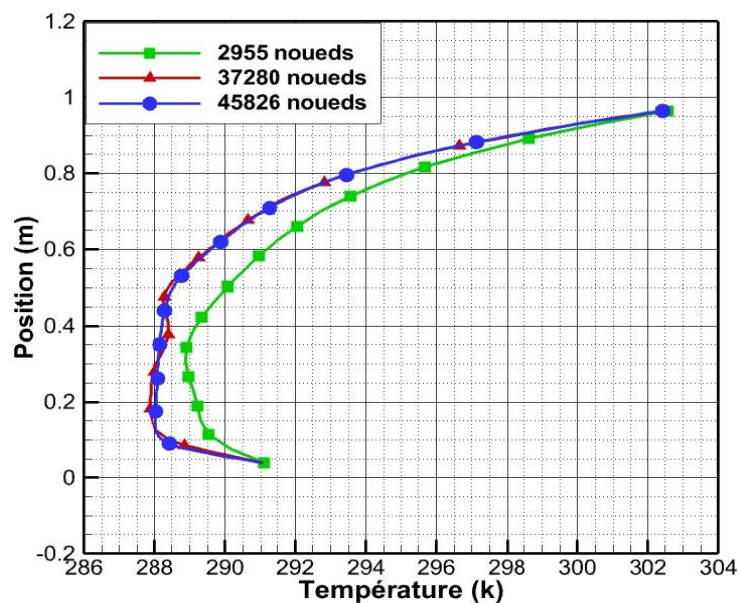


Figure IV. 2: Test d'indépendance du maillage: comparaison de la température moyenne du lait à une surface verticale au milieu de la citerne .

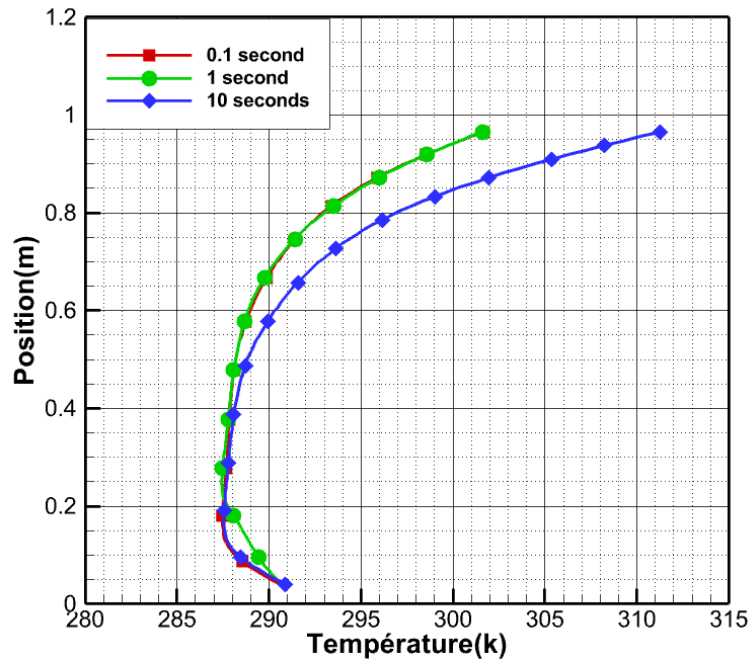


Figure IV. 3 :Test du pas du temps.

IV.4. Validation du modèle numérique

Les résultats numériques actuels ont été comparés aux résultats expérimentaux et numérique (approche globale) publiés par [32] Il s'agit d'une étude qui traite la convection naturelle dans une cavité cubique de taille 1 m^3 .

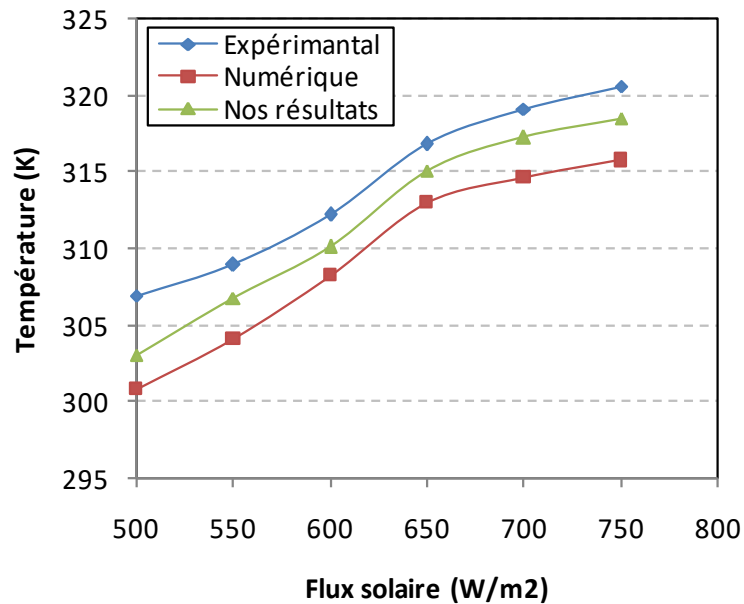


Figure IV. 4: Comparaison de la température moyenne de l'air avec les résultats expérimentaux et numériques.[32]

La figure IV. 4 montres la variation de la température de l'air à la sortie de la cheminée solaire en fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Nos résultats sont en bon accord avec les résultats expérimentaux de Jyotirmay et Al [32]. L'erreur relative moyenne observée était de 0.01%.

IV.5. Etude préliminaire d'une citerne construite d'une seul couche d'acier

La configuration schématisée dans la figure IV.5. représente une citerne de 3.4 m le longueur et de 1m de diamètre, construite d'une seul couche d'acier inoxydable. On suppose que le camion qui porte la citerne se déplace dans une seule direction et donc les radiations solaire sont incidentes sur la paroi supérieure et la paroi gauche seulement. Toutes les parois de la citerne sont exposées à la convection avec l'air ambiant. Les valeurs maximales du rayonnement solaire absorbé par la paroi supérieur (1002 W/m^2) et la paroi gauche (475 W/m^2) et de température de l'air ambiant (30°C) pour toutes les parois, ont été choisi pour l'étude paramétrique qui suit. Le coefficient de convection utilisé dans le calcule $h_0=12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

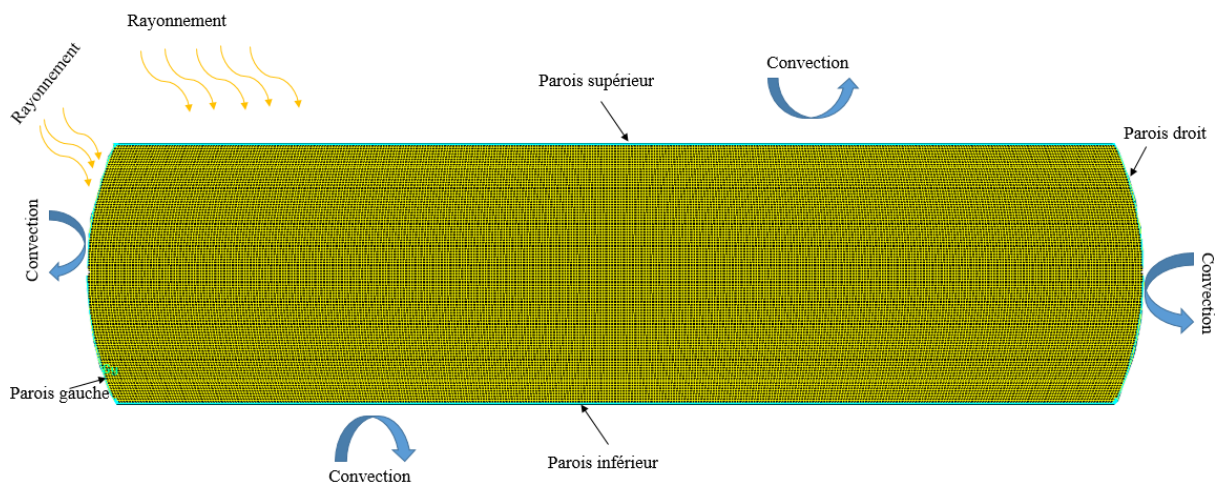


Figure IV. 5: Citerne construit d'une seul couche d'acier.

IV. 5.1. Comportement dynamique et thermique du lait

Dans la cavité fermée tel que la citerne du lait, les deux principaux facteurs contrôlant l'écoulement sont la gravité et l'écart de température. Le mouvement du fluide est généré uniquement par des différences de densité dans le fluide dues aux gradients de température.

Dans la citerne, le lait à une température initiale de 4°C absorbe la chaleur transférée par les parois de la citerne exposées au rayonnement solaire (paroi supérieure et gauche) et à l'air ambiant. Cela provoque une augmentation progressive de la température du lait en fonction du temps. La température moyenne du lait ne doit pas dépasser 10°C durant le transport car elle provoque l'altération du lait.

Pour faciliter la compréhension du comportement thermique et dynamique de lait au dans la citerne, une visualisation des champs de température, de vitesse et de ligne de courant s'avère nécessaire. Pour cela nous avons utilisé le Tecplot comme post-traitement.

La figure IV.6 montrent les profils des lignes de courant, du champ de vitesse et du champ thermique dans la citerne à $t = 6\text{min}10\text{s}$. L'analyse des résultats montre que:

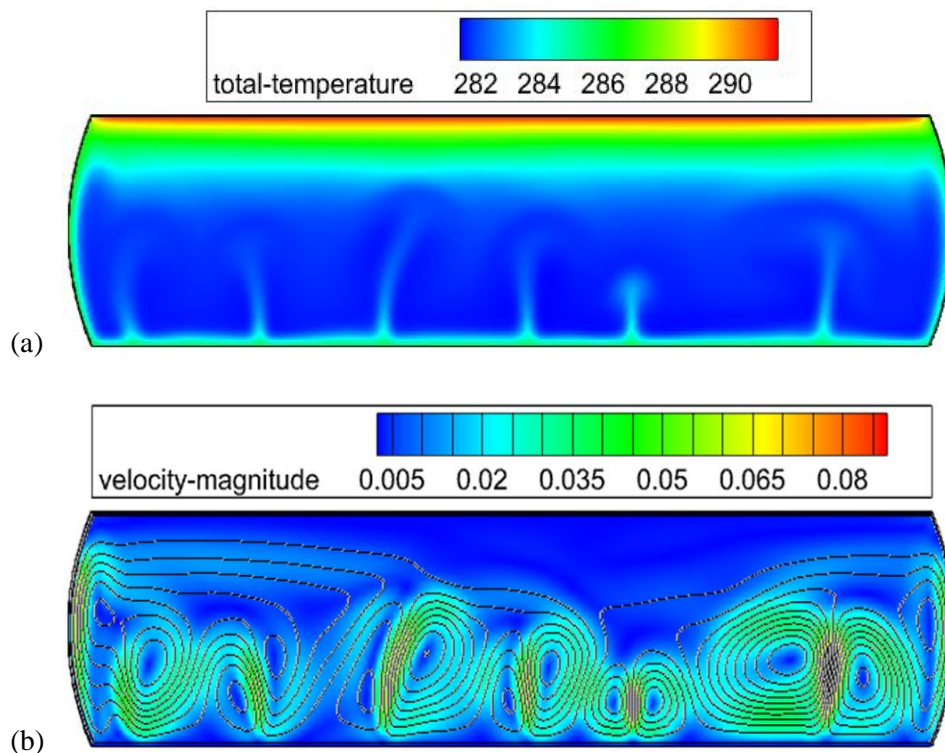


Figure IV. 6: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à $t=6\text{min}10\text{s}$.

La zone la plus chaude dans la citerne est la paroi supérieure car elle reçoit le taux le plus élevé de la chaleur, elle atteindra 18.55 °C.

Deux comportements thermiques différents sont observés dans la citerne. Une stratification thermique du lait apparaît dans la partie supérieure de la citerne. Le lait se superpose en strates car il est chauffé par le haut. Dans la partie inférieure de la citerne, la paroi est plus chaude que le lait, c'est le cas d'un fluide chauffé en bas et soumis à la gravité.

nous pouvons observer qu'après une phase de diffusion, le champ de température se déstabilise, et des rouleaux de convection s'installent, cela apparait clairement grâce aux champs des lignes de courant. Le même phénomène se développe près des deux parois gauche et droite car elles ont une température plus élevée que la température du lait.

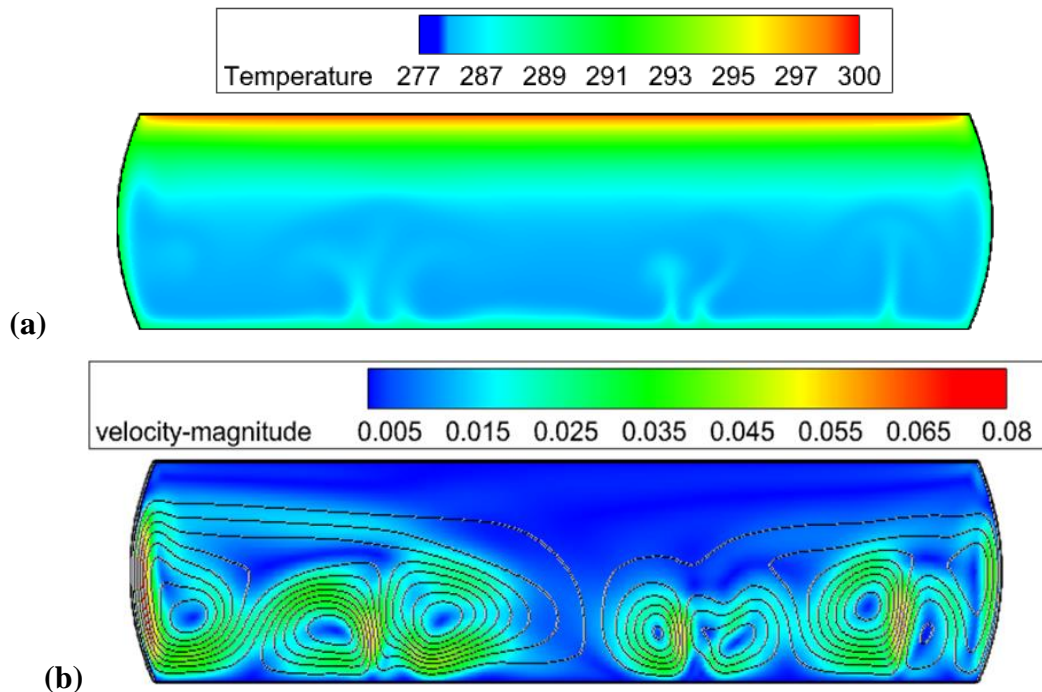


Figure IV. 7: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à t=10 min.

Sur les champs de vitesse on remarque que les valeurs élevées sont enregistrées dans la moitié inférieure de la citerne à cause du mouvement provoqué par la convection naturelle dans le lait. Dans l'autre côté le lait est presque stagné, cela revient à la stratification thermique dans cette zone. La vitesse moyenne du lait dans la citerne est $v = 0.015$ m/s.

A t=10 min (voir figure IV.7) le comportement thermique et dynamique est toujours le même: une stratification avec faible vitesse en haut et des rouleaux de convection en bas avec une augmentation logique de la température due à l'absorbassions de la chaleur venue de l'extérieur. à cette instant le lait atteint une température et une vitesse moyenne de 15.03°C et 1.26×10^{-2} m/s, respectivement.

IV. 5.2. Evolution de la température du lait au cours du temps

La figure IV. 8 montre la variation temporelle de la température nodale du lait à $x=1.83$ m (milieu de la citerne) en cinq hauteurs différents ($y=0.05, 0.25, 0.5, 0.75$ et 0.95 m).

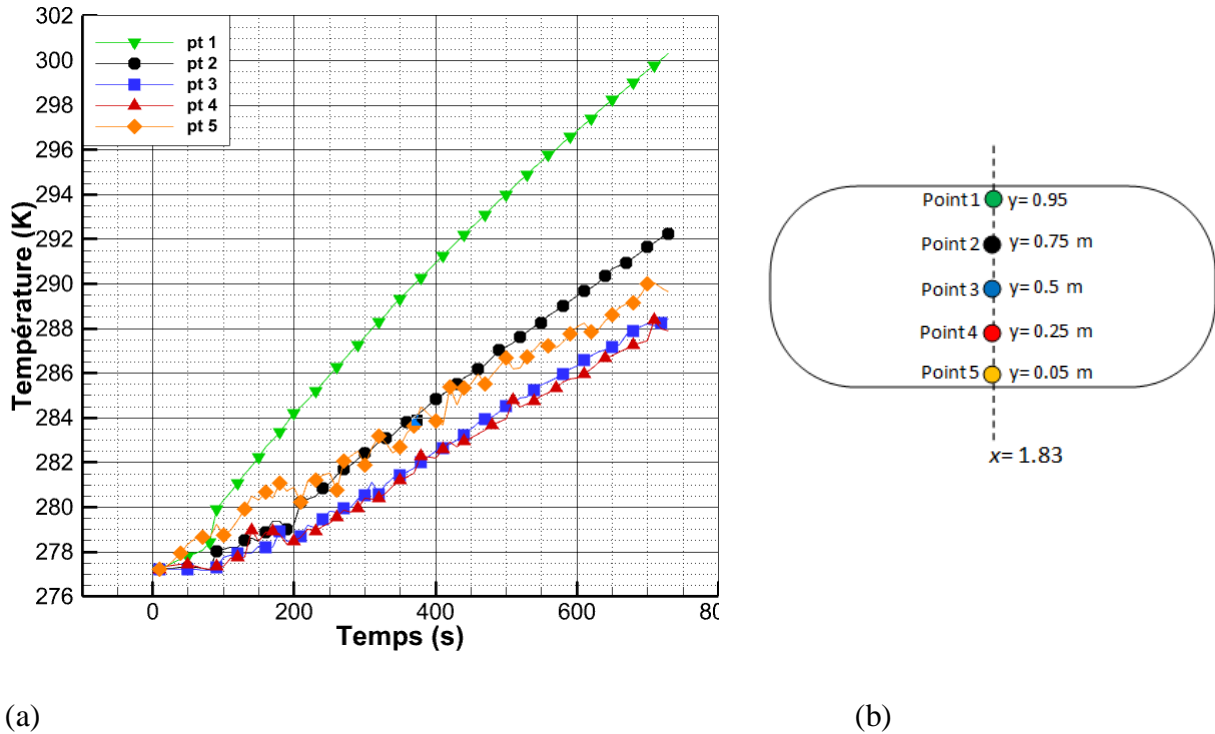


Figure IV. 8: (a) Évolution de la température nodale du lait à (b) $x = 1.83$ m pour différents hauteurs $y = 0.05, 0.25, 0.5, 0.75, 0.95$ m. (b) Les positions des cinq points dans la citerne.

Nous pouvons remarquer que la température la plus élevée est celle la plus proche à la paroi supérieure (point 1) car c'est la zone la plus chaude. Dans le point 2 la température est considérablement inférieure que le point 1(jusqu'à 8°C de différence) bien que la distance qui sépare les deux points est faible (0.02 m) cela revient à la stratification thermique dans cette zone. La température du point 5 est plus importante que celle du point 4 car le lait reçoit la chaleur à travers la paroi inférieure exposée à l'air ambiant. L'évolution de la température dans les points 3 et 4 est presque identique et représente la zone la plus froide dans la citerne.

La figure VI. 9 représente la variation de la température moyenne du lait en fonction du temps. Nous remarquons une augmentation progressive de la température au cours du temps revient à l'absorption de l'énergie thermique du rayonnement solaire et de l'air ambiant. La température moyenne atteint environs 10°C après 6 min et 10s, ce qui signifie le

début de l'altération du lait. Cette durée est très courte, par conséquent cette citerne ne peut pas répondre aux critères du transport du lait qui exige une température moyenne inférieure à 10°C pour des durées prolongées afin de garantir une bonne conservation du lait.

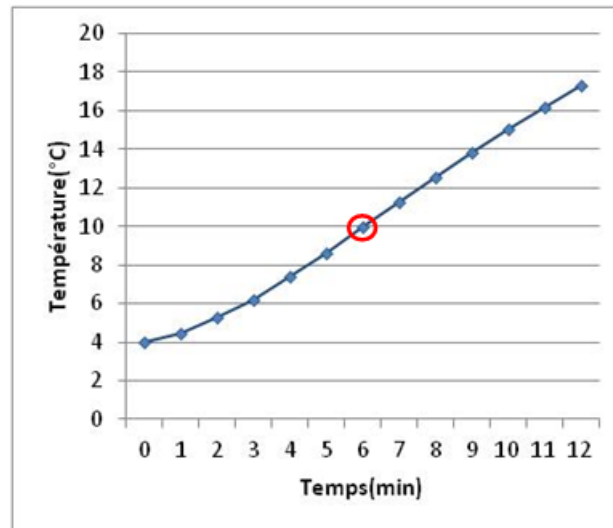


Figure IV. 9: L'évolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.

Pour éviter cette hausse rapide de température dans la citerne il est indispensable de réaliser une bonne isolation.

IV.6. Citerne double paroi à isolation thermique

Pour isoler les citernes et maintenir le lait à une température faible, on emploie généralement la laine de roche, la laine de verre et la mousse rigide de polyuréthane. Le polyuréthane possède le coefficient de conductivité thermique le plus faible de tous ces matériaux ($\lambda=0.025\text{W/mK}$). Il peut être appliqué par injection ce qui permet d'obtenir une isolation homogène particulièrement efficace. Pour cela nous avons étudié un cas d'une citerne double paroi à isolation en utilisant le polyuréthane (cas réel).

La figure IV.10. représente la configuration de la citerne double paroi à isolation, cette citerne est utilisée par l'unité de la production du lait Ennadjah de Maghnia, Tlemcen pour transporter le lait cru.

Les conditions initiales (température initial du lait est 4°C) et aux limites (rayonnement solaire et température ambiante) ne changent pas.

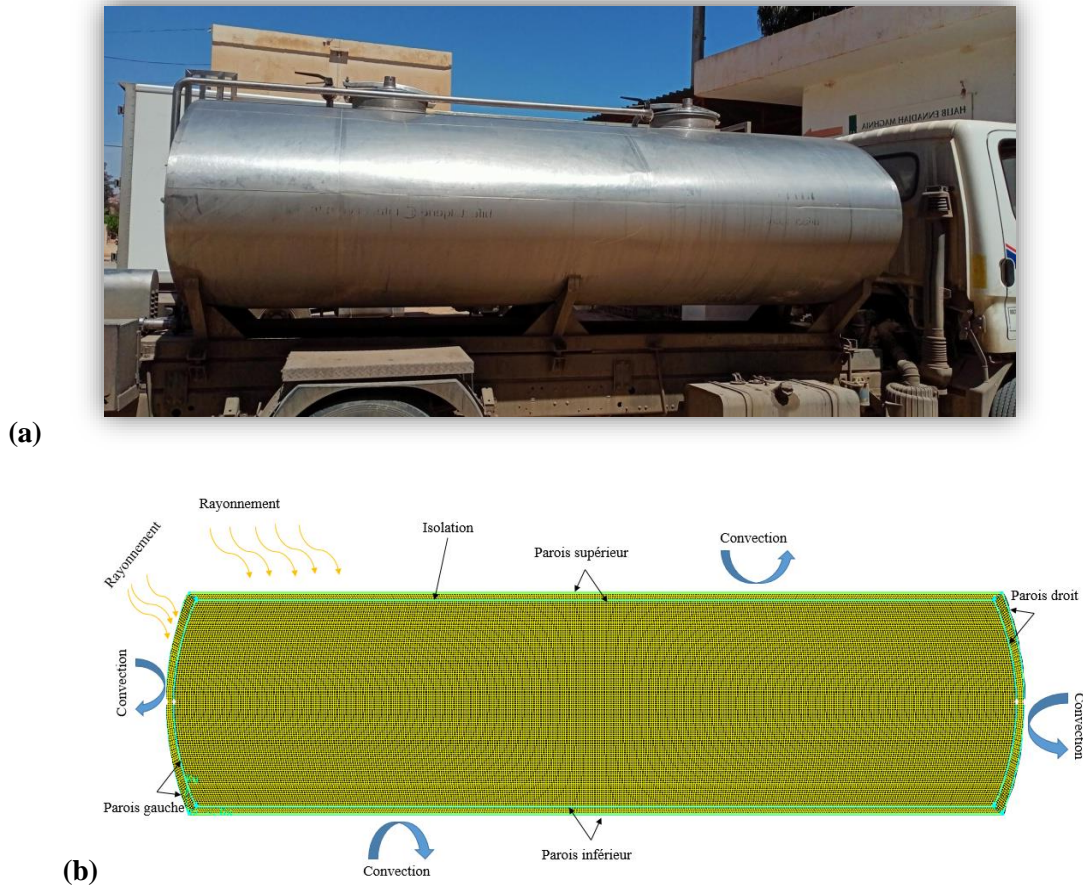


Figure IV. 10: (a) Citerne réelle, (b) schéma de la citerne double paroi à isolation.

IV.6.1. Comportement dynamique et thermique du lait

Les figures IV.11 et IV.12 illustrent la répartition des contours de température, de vitesse et des lignes de courants à $t = 10\text{min}$ et $1\text{h}36\text{min}$, respectivement. L'utilisation d'un isolant thermique dans la citerne permet de limiter les transferts thermiques de l'extérieur vers l'intérieur. Ceci affecte directement la structure dynamique et thermique du lait. Nous remarquons la disparition totale des rouleaux de la convection installés auparavant près de la paroi inférieure et la stratification domine le comportement thermique.

Au voisinage des paroi gauche et droite deux cellules principales de convection apparaît due au gradient de température entre ces parois et le lait. Sur les contours de vitesse des valeurs faibles sont enregistrées au sein de la citerne. Les vitesses maximales sont au voisinage des parois verticales.

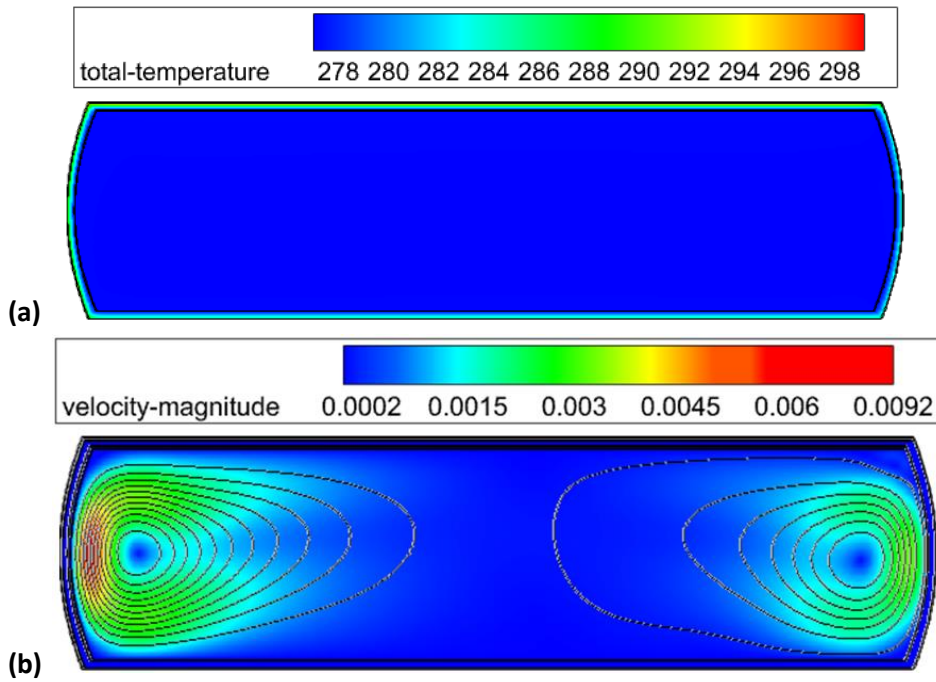


Figure IV. 11: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à $t=10\text{min}$.

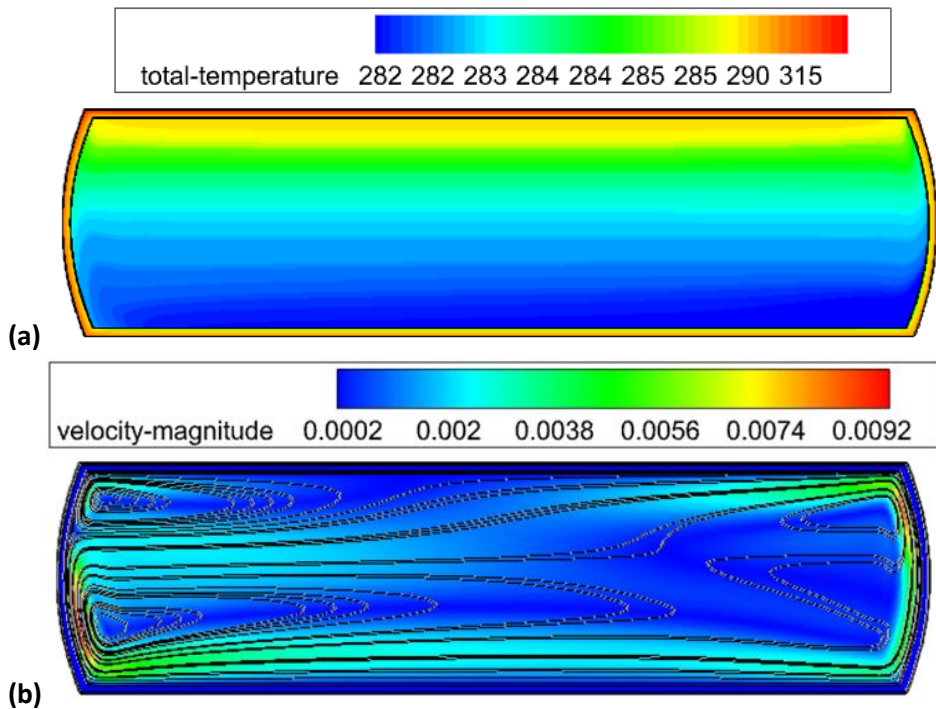


Figure IV. 12: Répartition des champs (a) températures et (b) de vitesse (lignes de courant) dans la citerne à $t=1\text{h}36\text{min}$.

Au cours du temps (à $t=1h36min$), le comportement dynamique et thermique du lait n'a pas changé. Les deux cellules de convection s'allongent horizontalement le long de la citerne avec domination du coté gauche car il reçoit plus de chaleur.

La température moyenne du lait a augmenté de $4.03^{\circ}C$ à $10min$ à $10^{\circ}C$ vers $1h36min$. et la vitesse moyenne du lait de 8.12×10^{-4} à $t=10min$ à $1.43 \times 10^{-3} m/s$ à $t=1h36min$.

IV.6.2. Evolution de la température du lait au cours du temps

La figure VI. 13 représente la variation de la température moyenne du lait en fonction du temps.

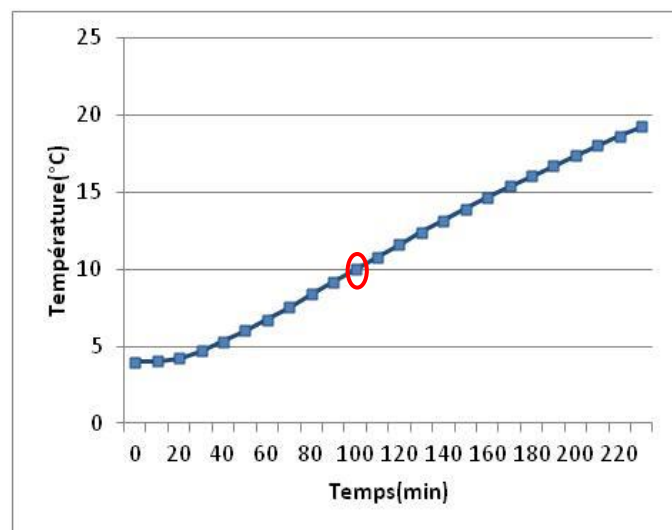


Figure IV. 13: L'évolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.

La température moyenne du lait atteint environs $10^{\circ}C$ après $1h$ et $36 min$. L'utilisation de l'isolation a prolongé la durée de préservation du froid à l'intérieur de la citerne par environs $1h$ et $30 min$ comparant au cas précédent (sans isolation). Cette solution a amélioré considérablement le temps de refroidissement mais ça reste toujours insuffisant pour le transport du lait qui nécessite généralement des durées prolongées.

Dans ce cadre et pour prolonger encore plus le temps de refroidissement, nous proposons d'intégrer un système de refroidissement (un évaporateur) dans la citerne du transport du lait.

IV.7. Citerne double paroi à isolation thermique avec évaporateur immergé

L'objectif de cette partie est de mettre en évidence l'influence d'intégrer un évaporateur sous forme de serpentin **immergé** dans le lait sur la durée du préservation du lait froid dans une fourchette allant de 4°C à 10°C. L'évaporateur possède les propriétés suivantes: une longueur de 3.98m et une épaisseur de 0.02m. Il est construit de l'acier inoxydable alimentaire 304. L'évaporateur va provoquer une baisse de température du lait ce qui empêche l'altération du lait durant le transport.

IV.7.1. Effet de la position de l'évaporateur

A. Evaporateur placé en haut de la citerne

L'évaporateur fournissant du froid, logiquement il doit être placé en haut. La température de l'évaporateur est fixée à 2°C. Nous gardons les mêmes conditions aux limites (figure IV.14)

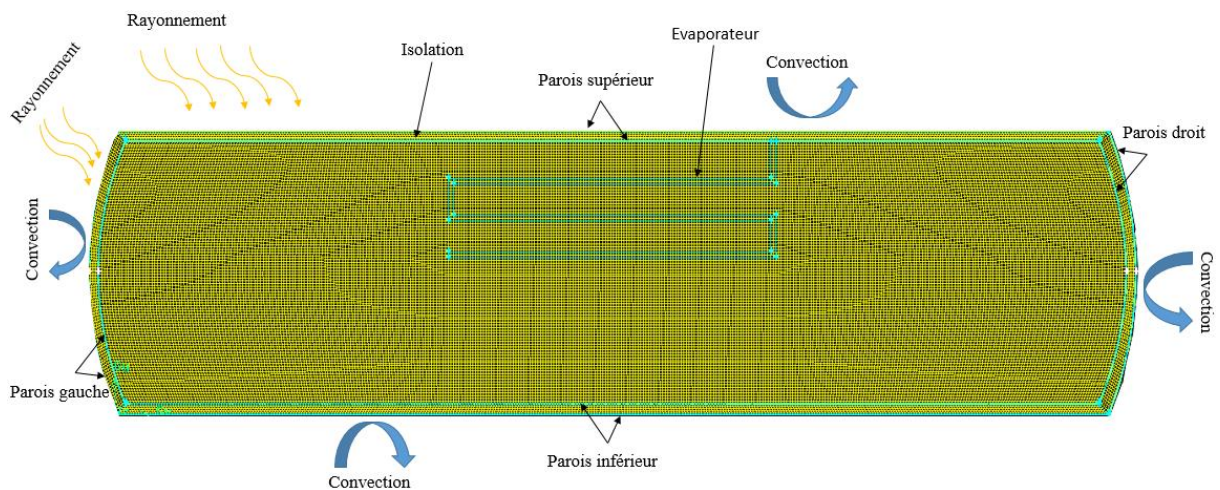


Figure IV. 14: Schéma de la citerne double paroi à isolation avec évaporateur intégré en haut.

➤ Comportement dynamique et thermique du lait

La figure. IV.15 montre l'évolution des lignes de courant, des contours de température et des champs de vitesse dans la citerne à deux instants ($t=10$ min et $t=51$ min) et en présence de l'évaporateur.

A $t = 10$ min et d'après les contours de température, la zone la plus chaude est toujours la plaque supérieure. Elle cède une partie de sa chaleur vers l'intérieur ce qui contribue au réchauffement progressive du lait au voisinage de cette paroi.

Lait au contact de la plaque froide (évaporateur) placé en haut se refroidit par simple conduction, et il s'établit une mince couche de lait froide en haut, contre la plaque froide. Plus

cette couche du lait refroidit, plus elle devient épaisse et dense. Au bout d'un certain temps, elle devient suffisamment dense, et elle plonge vers le bas suivant l'axe verticale de la citerne. Alors, elle perd contact avec la source de froid et reste à température constante tout au long de sa plongée. En bas de la citerne elle se croise avec une source chaude et se réchauffe à nouveau et monte ensuite vers le haut. Ce mouvement provoque la création de deux cellules de convection qui balayent la citerne du haut vers le bas. A cet effet, la stratification observée au paravent a disparu. Les valeurs moyennes de température et vitesse sont 4.68°C et $V=1.33 \times 10^{-2}$ m/s, respectivement. Pour le même instant $t=10$ min, nous remarquons que la vitesse de l'écoulement du lait a augmenté par rapport au cas d'une citerne sans évaporateur.

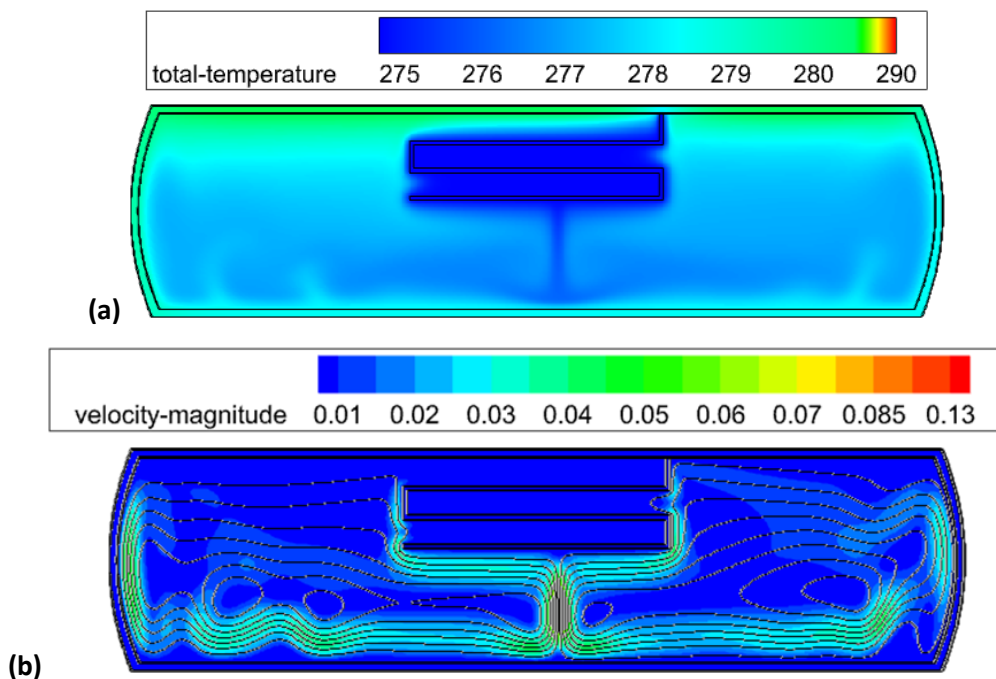


Figure IV. 15: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) en présence de l'évaporateur à $t=10$ min.

A $t = 50$ min, voir figure IV.16, un comporte thermique et dynamique similaire est observé avec une déviation de la masse du lait froid descendant vers la droite car le coté gauche est plus chaude que le coté droit. Les valeurs moyennes de température et vitesse sont 10°C et $V=1.94 \times 10^{-2}$ m/s, respectivement.

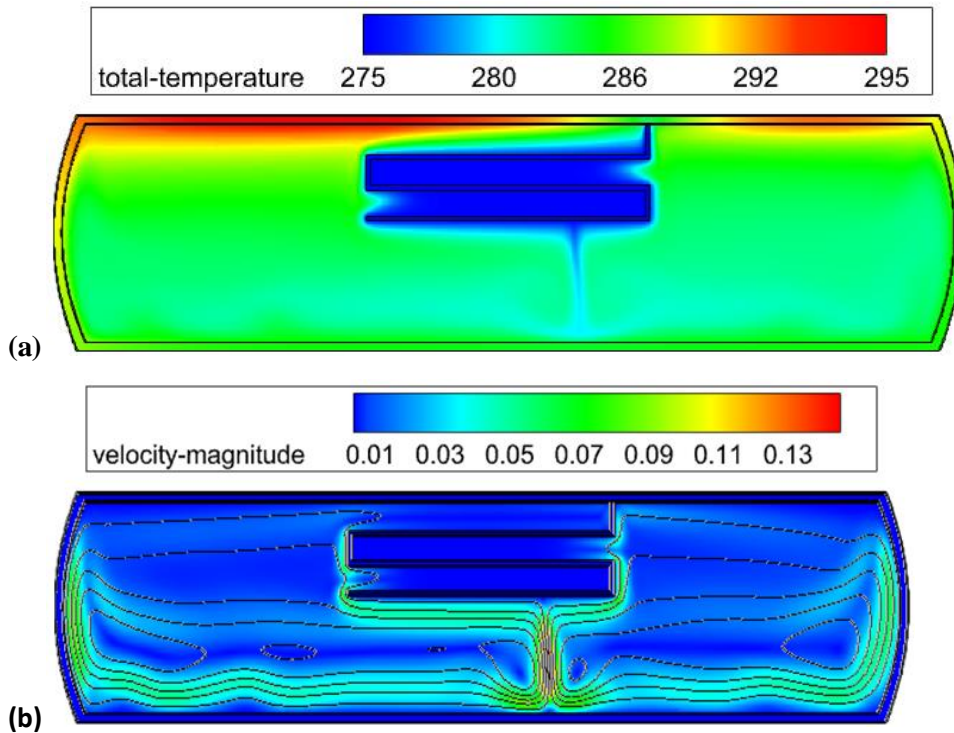


Figure IV. 16: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) en présence de l'évaporateur à $t=50$ min.

➤ **Evolution de la température moyenne du lait au cours du temps**

La figure VI. 17 représente la variation de la température moyenne du lait en fonction du temps à la présence d'un évaporateur. La température moyenne du lait atteint environs 10°C après 50 min. L'intégration de l'évaporateur a provoqué un effet contraire, il a diminué le temps de refroidissement au lieu de le prolonger. C'est à dire, il a provoqué un échauffement plus rapide du lait. Pour quoi?! Cela peut être expliquer par :

- La disparition de la stratification thermique qui applique une diffusion lente de la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur.
- L'augmentation de la vitesse de l'écoulement du lait après l'intégration de l'évaporateur ce qui favorise la convection.

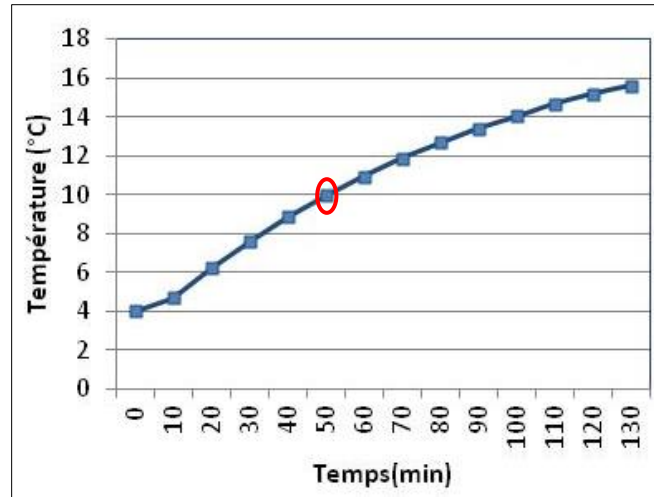


Figure IV. 17: Evolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.

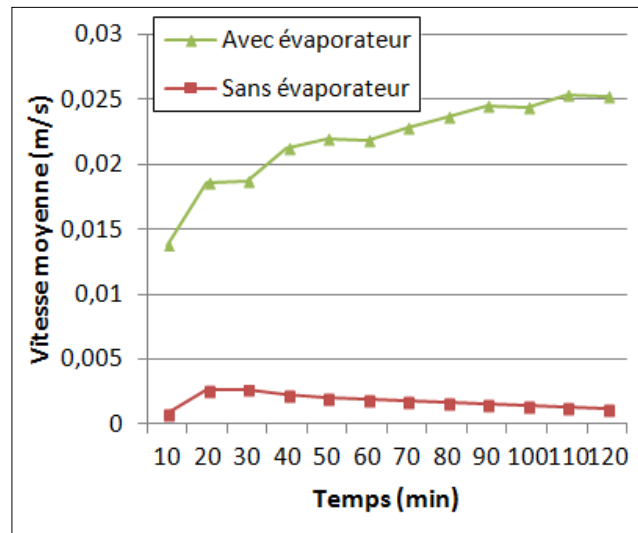


Figure IV. 18: Comparaison de l'évolution de la vitesse moyenne de l'écoulement du lait pour les deux cas: sans et avec évaporateur.

D'après la figure IV. 18, l'intégration de l'évaporateur a accéléré considérablement l'écoulement du lait au sein de la citerne. Par exemple à $t = 50$ min, la vitesse à la présence de l'évaporateur est dix fois plus importante. Ceci influence directement l'échange thermique entre les parois de la citerne et le lait. L'augmentation de la vitesse implique une augmentation du coefficient de convection h ce qui améliore le transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur.

D'après la figure IV. 19, la quantité de chaleur dégagée par la paroi supérieure pour le cas avec évaporateur est nettement plus importante ce qui explique le réchauffement rapide du lait dans ce cas. Il confirme aussi l'amélioration du transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur due à l'augmentation de la vitesse de l'écoulement.

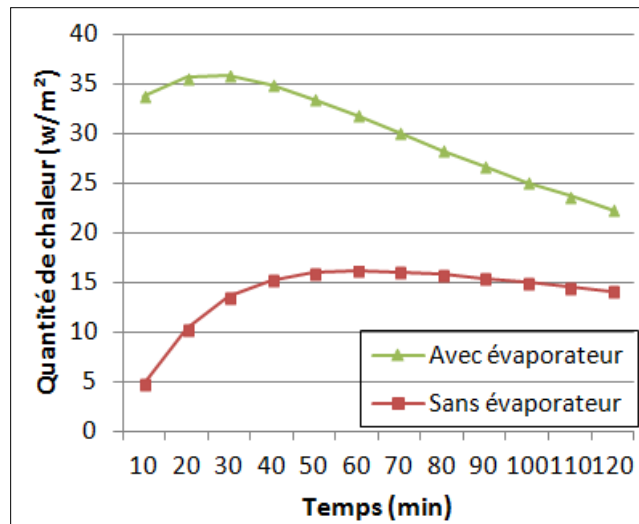


Figure IV. 19: Comparaison de la chaleur moyenne dégagée par la paroi supérieure de la citerne pour deux cas: citerne sans et avec évaporateur.

Pour profiter des avantages de la stratification thermique (échange thermique lent de l'extérieur vers l'intérieur) nous proposons de placer l'évaporateur en bas de la citerne.

B. Evaporateur placé en bas de la citerne

Dans cette partie l'évaporateur est placé en bas de la citerne. Nous gardons les mêmes conditions aux limites et la température de l'évaporateur est fixée à 2°C. (figure IV.20).

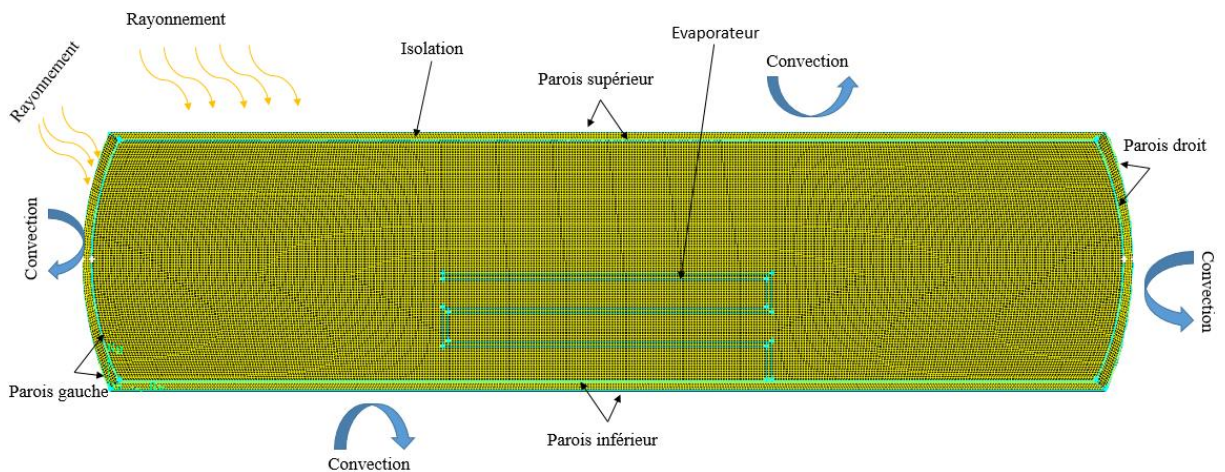


Figure IV. 20: Schéma de la citerne double paroi à isolation avec évaporateur intégré en bas.

➤ Comportement dynamique et thermique du lait

La figure IV.21 montre que l'intégration de l'évaporateur dans la partie basse de la citerne a permis l'apparition de la stratification thermique à nouveau dans la partie supérieure et réduit la vitesse de l'écoulement ascendant (à $t=10$ min, $v = 4.97 \times 10^{-3}$ m/s)

Dans la partie basse, deux cellules principales de la convection se développent près des deux extrémités gauche et droite de l'évaporateur. Cela revient au gradient de température entre les extrémités de l'évaporateur et la paroi inférieure de la citerne.

L'espace entre la paroi inférieure de la citerne et la surface inférieure de l'évaporateur reflète le cas d'un film de fluide (lait) maintenu entre deux plaques à une température chaude en bas et froide en haut. Ces conditions favorisent l'apparition des rouleaux longitudinaux parallèles (les rouleaux de Rayleigh Bénard).

Sur les champs de vitesse on remarque que les vitesses maximales sont aux niveaux des zones de recirculations. La partie supérieure représente des valeurs faibles.

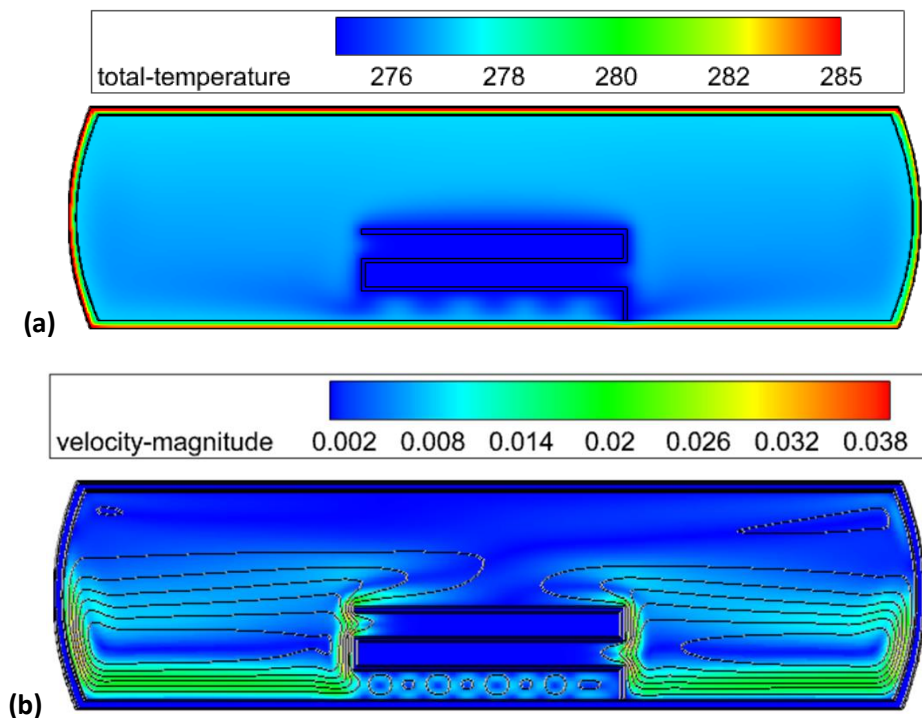


Figure IV. 21: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) avec évaporateur en bas à $t = 10$ min.

A $t = 3\text{h}17\text{min}$, voir figure IV.22, on constat un comportement thermique et dynamique similaire avec une augmentation logique de la température moyenne du lait à environs 10°C . La vitesse moyenne du lait est $=4.9 \times 10^{-3}$ m/s.

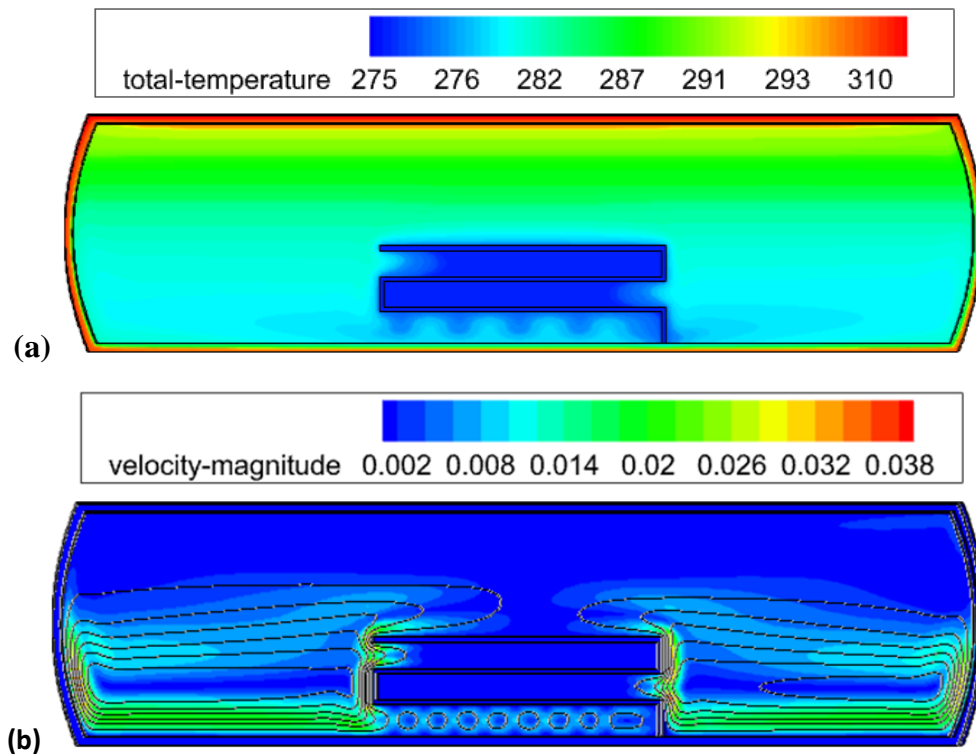


Figure IV. 22: Evolution des contours de température (a), des lignes de courant et des champs de vitesse (b) avec évaporateur en bas à $t = 3\text{h}17\text{min}$.

➤ **Evolution de la température moyenne du lait au cours du temps**

La variation de la température moyenne du lait en fonction du temps à la présence d'un évaporateur placé en bas de la citerne est présentée dans la figure IV.23. La température moyenne du lait atteint environs 10°C après 3h et 17 min. Ce résultat a met en évidence l'intérêt de la position de l'évaporateur. Un changement de place de haut vers la bas de l'évaporateur a prolongé le temps de refroidissent par environs 2h et 27min. Pour la suite nous optons pour l'évaporateur placé en bas.

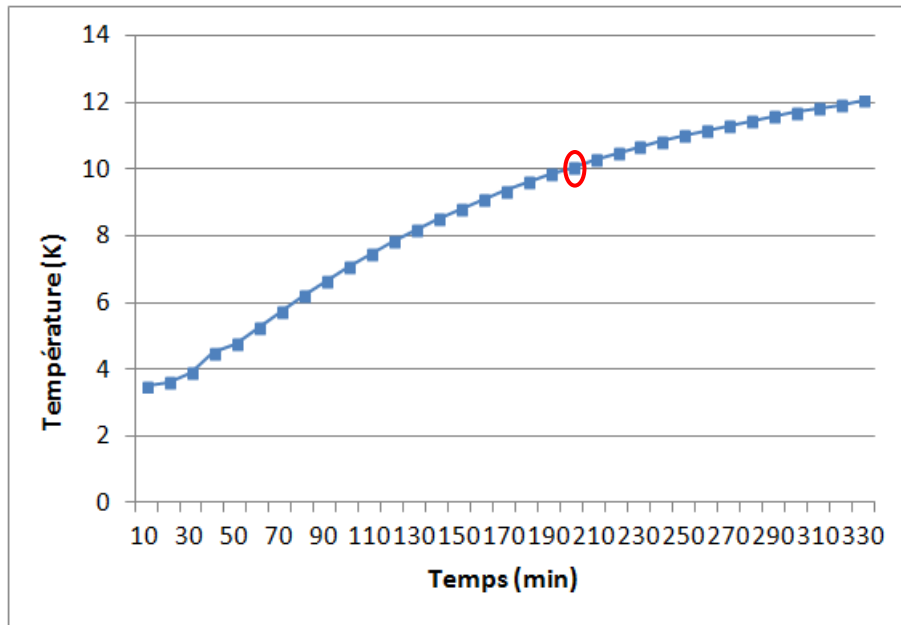


Figure IV. 23: Evolution de la température moyenne du lait en fonction du temps.

IV.7.2. Effet de la longueur et la température de l'évaporateur

L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui absorbe l'énergie thermique provenant du lait par le biais d'un fluide frigorigène après avoir été détendu. L'augmentation de la surface d'échange entre l'évaporateur et le lait permet d'augmenter la chaleur absorbée ce qui assure un refroidissement meilleur du lait. Pour augmenter la surface d'échange de l'évaporateur il suffit de d'accroître sa longueur .

Pour mettre en évidence l'effet de la longueur de l'évaporateur sur l'évolution de la température moyenne du lait nous avons varié la longueur de l'évaporateur de 3.98m à 6.35m sans changé sa température (2°C). Les résultats sont montrés sur la figure IV.24. Une prolongation de la durée de refroidissement par environs 60min est observée lorsque nous augmentons la surface d'échange.

La température de l'évaporateur est un autre facteur qui a une influence importante sur le refroidissement du lait. Plus la température de l'évaporateur est basse plus le lait devient froid, cependant la température de la congélation du lait est environs -0.55°C . Pour éviter la congélation du lait qui provoque son altération, il est préférable de ne pas diminuer la température de l'évaporateur moine de 0°C .

Comme précédemment, en considérant les dimensions de l'évaporateur constantes (longueur = 3.98m) et en variant la température de l'évaporateur de 2°C à 0°C. L'évolution de la températures moyenne du lait en fonction du temps pour ces deux températures est affichée sur les figure IV.24. La diminution de la température de l'évaporateur est d'importante influence sur la température moyenne du lait. Cette influence corresponde à une augmentation des échanges thermiques par convection entre le lait et l'évaporateur et par conséquence une prolongation du temps de refroidissement. Un évaporateur de 0°C assure une durée de refroidissement de 4h et 50 min.

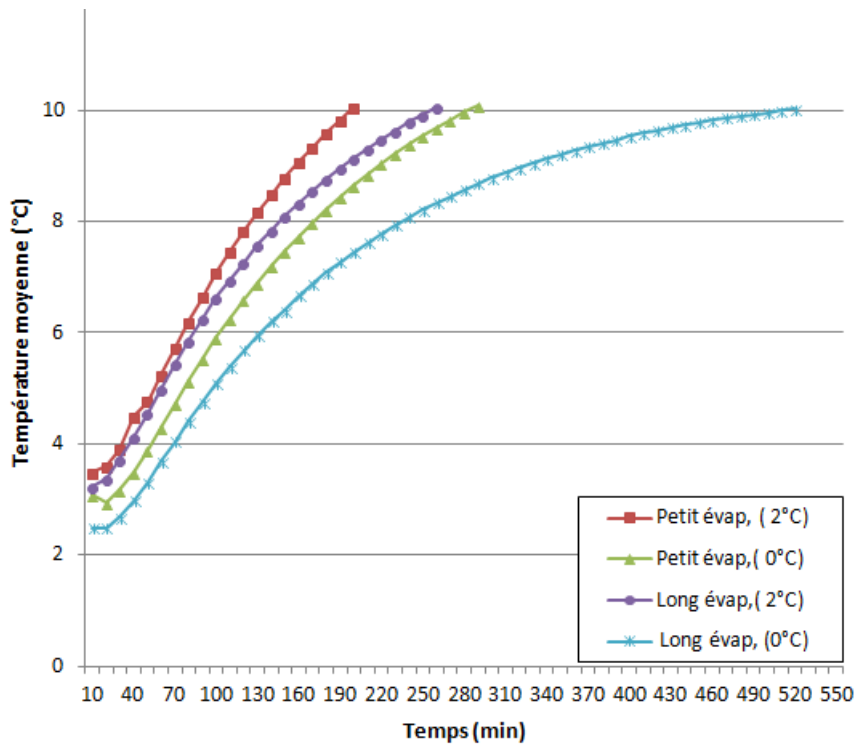


Figure IV. 24: L'effet de la longueur et la température de l'évaporateur sur l'évolution de la température moyenne du lait.

Une nette amélioration de la durée de refroidissement est observée lorsque nous avons prit en considération un évaporateur de longueur de 6.35m et de température de 0°C au même temps. Une prolongation considérable est enregistrée dans ce cas. cet évaporateur assure une durée d'environ 8h 40 min de refroidissement.

Tableau IV. 2: Durée de refroidissement du lait pour différents cas de l'évaporateur.

	Petit évap. à 2°C	Long évap. à 2°C	Petit évap. à 0°C	Long évap. à 0°C
Durée de refroi.	3h17min	4h19min	4h50min	8h40min

La comparaison de ces résultats montre que la variation de la longueur de l'évaporateur a impact faible sur la durée de refroidissement, une diminution de la température de l'évaporateur a un impacte meilleur. Finalement, couplé les deux paramètres (longueur et température basse) assure la durée de refroidissement la plus longue.

IV.8. Efficacité de l'évaporateur sous des conditions climatiques variables

Afin de vérifier l'aptitude de l'évaporateur choisi ($L=6.35\text{m}$ et $T=0^\circ\text{C}$) à maintenir la température du lait à une valeur inférieure à 10°C sous des conditions climatiques réelles, les données météorologiques d'une journée typique de mois d'Aout dans la région nord-ouest de l'Algérie (Tlemcen) ont été testées.

L'évolution horaire de la température ambiante et du rayonnement solaire global reçu sur un plan horizontale(0°) et un plan verticale (90°) ont été introduit comme conditions aux limites. La citerne est exposée au rayonnement solaire de 6h à 19h.

Pour intégrer l'évolution instationnaire de la température ambiante et le rayonnement solaire, nous avons développé des sous-programmes écrits en C++ (UDF).

Pour prendre en considération l'effet de la vitesse du camion qui porte la citerne au cours du transport sur l'évolution de la température du lait, nous avons modifié le coefficient de convection avec l'extérieur.

$$h_0 = 2,8 + 3V_v \quad \text{IV. 4}$$

Dans ce cas, nous avons supposé que la vitesse de véhicule est 70 km/h et égale la vitesse du vent. Donc, $h_0 = 61.12\text{ W/m}^2\text{K}$.

La figure IV.25 montre l'évolution horaire de la température moyenne du lait pour deux cas différent: camion-citerne au mouvement ($h_0=61.12\text{ W/m}^2\text{K}$) et camion citerne en stationnement ($h_0=12\text{ W/m}^2\text{K}$).

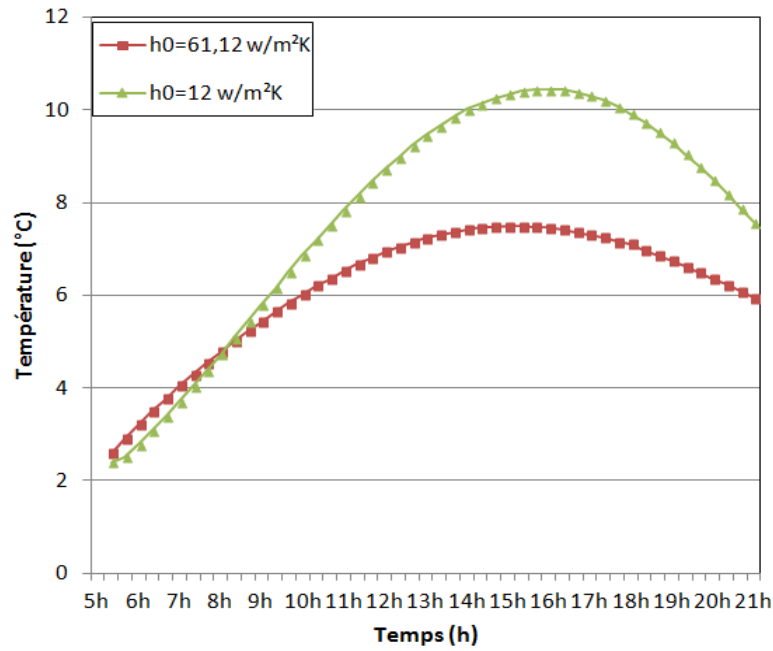


Figure IV. 25: Evolution de la température moyenne du lait pour deux coefficients de convection avec l'extérieur h_0 .

Comme prévu, la température moyenne du lait augmente avec l'intensité du flux solaire du matin jusqu'en début de l'après-midi, avant de diminuer plus tard en fin de journée. La température maximale du lait enregistrée est $7.46 \text{ }^\circ\text{C}$ et $10.45 \text{ }^\circ\text{C}$ pour $h_0=61.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ et $h_0=12 \text{ W/m}^2\text{K}$, respectivement. L'augmentation du coefficient de convection h améliore le transfert thermique entre la paroi extérieur de la citerne et l'extérieur, cela est traduit par une diminution de la température du lait dans le cas de $h_0=61.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ à cause de la diminution de la chaleur transférée vers l'intérieur.

A partir de ces résultats, l'évaporateur a pu maintenir la température du lait inférieur à $10 \text{ }^\circ\text{C}$ assurant la protection du lait de l'altération due à l'élévation de sa température et cela pour toute une journée.

IV.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus à travers les différentes simulations réalisées pour analyser le comportement dynamique et thermique d'une citerne destinée à transporter le lait crue durant la collecte. Un évaporateur sous forme de serpentín est immergé dans la citerne pour maintenir le lait à une température inférieure de $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Pour cela, plusieurs configurations de citerne ont été analysées et comparées. Les principales conclusions sont:

Dans la citerne le mouvement du lait est généré uniquement par des différences de densité dues aux gradients de température.

Le cas préliminaire de la citerne montre deux comportements différents de l'écoulement du lait: une stratification thermique avec des vitesses faibles en haut et des rouleaux de convection en bas où se trouvent des vitesses importantes. Dans ce cas, le lait atteint une température moyenne de 10°C après 6min 10s.

L'utilisation d'une isolation thermique latérale de la citerne permet de limiter le transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur. Ce qui provoque la disparition totale des rouleaux de la convection et la stratification domine le comportement thermique. Une amélioration considérable du temps de refroidissement est remarquée où le lait atteint une température moyenne de 10°C après 1h 30min.

L'intégration d'un évaporateur immergé dans le lait provoque la création de deux cellules de convection et élimine la stratification thermique. La température moyenne du lait atteint environ 10°C après 50 min.

L'intégration de l'évaporateur a provoqué un effet contraire, il a diminué le temps de refroidissement au lieu de le prolonger à cause de l'augmentation de la vitesse de l'écoulement qui améliore le transfert thermique entre la citerne et le lait.

Pour profiter des avantages de la stratification thermique, l'évaporateur est placé en bas de la citerne. La température moyenne du lait atteint environ 10°C après 3h et 19 min dans ce cas. Un changement de place de haut vers le bas de l'évaporateur a prolongé le temps de refroidissement par environ 2h et 29min.

L'analyse de l'effet de la longueur et la température de l'évaporateur sur la durée de refroidissement a montré que la variation de la longueur de l'évaporateur a un impact faible sur la durée de refroidissement, une diminution de la température de l'évaporateur a montré un impact meilleur. Finalement, couplés les deux paramètres (longueur et température basse) assure la durée de refroidissement la plus longue d'environ 8h40min.

Le test des conditions climatiques réelles a prouvé que l'évaporateur est apte à maintenir la température du lait inférieure à 10°C pour toute une journée.

Conclusion générale

En Algérie, la plupart du lait est produit par des petits producteurs qui sont largement dispersés dans les zones rurales, alors que la majorité des marchés sont concentrés dans les zones urbaines. Le défi logistique de relier les producteurs aux marchés est aggravé par le caractère hautement périssable du lait qui demande à ce que la collecte et le transport soient effectués dans les conditions les plus favorables possibles.

Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire constitue une nouvelle contribution dans les études liés à l'amélioration des conditions de transport du lait. Il s'agit de mieux contrôler et améliorer les mécanismes du transfert thermo-convectif passif afin de trouver la conception optimale d'une citerne double paroi à isolation refroidi par un évaporateur immergé dans le lait.

Ce travail consiste à étudier numériquement le comportement thermique et dynamique d'une citerne destinée à transporter le lait crue durant la collecte. Un évaporateur sous forme de serpentins est immergé dans la citerne pour maintenir le lait à une température inférieure de 10°C. L'écoulement est considéré bidimensionnel, instationnaire et en régime laminaire. Le rayonnement solaire est pris pour une journée typique d'Aout sous les conditions climatiques de Tlemcen (Algérie). La simulation numérique est assurée à l'aide du code de calcul Fluent 6.3. D'après les résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

Dans la citerne le mouvement du lait est généré uniquement par des différences de densité dues aux gradients de température.

Le cas préliminaire de la citerne montre deux comportements différents de l'écoulement du lait: une stratification thermique avec des vitesses faibles en haut et des rouleaux de convection en bas où se trouvent des vitesses importantes. Dans ce cas, le lait atteint une température moyenne de 10°C après 6min 10s.

L'utilisation d'une isolation thermique latérale de la citerne permet de limiter le transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieur. Ce qui provoque la disparition totale des rouleaux de la convection et la stratification domine le comportement thermique. Une amélioration considérable du temps de refroidissement est remarquée où le lait atteint une température moyenne de 10°C après 1h 30min.

Conclusion générale

L'intégration d'un évaporateur immergé dans le lait provoque la création de deux cellules de convection et élimine la stratification thermique. La température moyenne du lait atteint environs 10°C après 50 min.

L'intégration de l'évaporateur a provoqué un effet contraire, il a diminué le temps de refroidissement au lieu de le prolonger à cause de l'augmentation de la vitesse de l'écoulement qui améliore le transfert thermique entre la citerne et le lait.

Pour profiter des avantages de la stratification thermique, l'évaporateur est placé en bas de la citerne. La température moyenne du lait atteint environs 10°C après 3h et 19 min dans ce cas. Un changement de place de haut vers la bas de l'évaporateur a prolongé le temps de refroidissement par environs 2h et 29min.

L'analyse de l'effet de la longueur et la température de l'évaporateur sur la durée de refroidissement montre que la variation de la longueur de l'évaporateur a impact faible sur la durée de refroidissement, une diminution de la température de l'évaporateur a montré un impacte meilleur. Finalement, couplé les deux paramètres (longueur et température basse) assure la durée de refroidissement la plus longue d'environ 8h40min.

Sous les conditions climatiques de la région de Tlemcen durant le mois d'Aout, l'évaporateur a prouvé son aptitude à maintenir la température moyenne du lait inférieur à 10°C pour toute une journée.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire ne constituent qu'une première étape dans l'étude de l'amélioration des conditions de transport. D'autres travaux de recherche méritent donc d'être réalisés dans le but d'intégrer l'évaporateur latéralement dans la citerne, cela va empêcher entièrement le réchauffement du lait. Finalement une réalisation expérimental s'avère aussi très utile pour réussir l'optimisation du système citerne-évaporateur.

Références

1. Demmad A., 2021, 03 Développement de la filière lait : Contraintes et perspectives ». EL MOUDJAHID, économie n°17293.
2. Aboutayeb R., (2009) Technologie du lait et dérivés laitiers <http://www.azaquar.com>
3. Cepil, (1987) Les laits reconstitués. Edition. APRIA, Paris.
4. Nesrine, B. Khaoula, B. (2019) Evaluation de la qualité physico-chimique du lait de vache de la région de BORDJ EL GHEDIR (BORDJBOU ARRERIDJ)
5. Amiot J., Fournier S., Leboeuf Y., Paquin P., Simpson R. et tugeon H., 2002: composition, propriétés physicochimique , valeur nutritive, qualité technologique et technique d'analyse du lait In Vingnola C.L, science et technologie du lait-transformation du lait , école polytechnique de Montréal, ISBN:3-25-29 (600 page).
6. Mathieu J, 1999. Initiation à la physicochimie du lait, Tec et Doc, Lavoisier, Paris: 3-190 220 pages.
7. Jean C et Dijon C. (1993) .Au fil du lait, ISBN 2-86621- P172-3.
8. Alais C. (1984). Sciences du lait. Principes de techniques laitières. 3ème édition, Ed publicité France. PP 431- 432.
9. Gosta B. (1995). Lait long conservation. In manuel de transformation du lait. Ed: Tétra Packs Processing Systems A.B, Sweden. 442P.
10. Pougheon, S., et Goursaud, J., (2001). « Le lait et ses constituants caractéristiques physicochimiques», In:DEBRY, G. Lait, nutrition et santé, Tec & Doc, Paris, 342 p.
11. Alais C, Linden G et Miclo L. (2008). Biochimie alimentaire, Dunod 6ème édition. Paris.
12. Fredo E. Connaissance des Aliments, Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, Edition Tec & Doc, Lavoisier. 2005, p25-424.
13. Vierling E., (2003): Aliment et boisson-Filière et produit, 2ème édition, doin éditeurs, centre régional de la documentation pédagogique d'Aquitaine:11(270 pages).
14. Thieulin G. et Vuillaume R., (1967) Eléments pratiques d'analyse et d'inspection du lait de produits laitiers et des oeufs-revue générale des questions laitières 48 avenue, Président Wilson, Paris : 71-73(388 pages).
15. Rheotest M., (2010) Rhéomètre RHEOTEST® RN et viscosimètre à capillaire RHEOTEST® LK –Produits alimentaires et aromatisants <http://www.rheoest.de/download/nahrungs.fr.pdf>.
16. Maurice Y. ; 1996. Analyse industrielle de la laiterie de Shola : points critiques et facteurs de risques sanitaires, rapport Cirad-emvt N° 96057, septembre 1996, Montpellier (France), 43 p.
17. J.O.R.A n°069 du 18 aout 1993. Section I et section III. PP 16.
18. Lorient D. (2001). Influence des traitements technologiques sur les propriétés nutritionnelles du lait. In: lait ,nutrition et santé. Ed. Tec & Doc. PP. 435-453.
19. Spreer, E., (1998). Milk and dairy product technology, Marcel Dekker Inc., New York.
20. FAO/OMS. (1970). Comité mixte d'expert de l'hygiène du lait. 3ème rapport. Genève.

21. Demmad, A., 2021, 03 Développement de la filière lait : Contraintes et perspectives ». EL MOUDJAHID, économie n°17293.p136,138.
22. Renseigné, N. (1964). Modalités nouvelles pour le stockage et le transport du lait en vrac. *Le Lait*, 44(435_436), 251-259.
23. Hana Z., Khawla B. (2018) , Variation de la qualité physico-chimique, bactériologique et organoleptique des laits destinés à la consommation durant le stockage à froid
24. Clement Kehinde Ajani , Zhiwei Zhu & Da-Wen Sun, Recent advances in multiscale CFD modelling of cooling processes and systems for the agrifood industry
25. Roşca, R., Țenu, I., & Cârlescu, P. (2017). Food chilling methods and CFD analysis of a refrigeration cabinet as a case study. London, UK: Intech Open Ltd..
26. Edgar, S., & Axel, M. (2017). Milk and dairy product technology. Routledge. PP(452-455).
27. ASHRAE, 2014. Ashrae Handbook Refrigeration. Ashrae, Atlanta SI edition ed..
28. Engin Söylemez , Emre Alpman , Ayhan Onat , Selim Hartomacioglu (2020), CFD analysis for predicting cooling time of a domestic refrigerator with thermoelectric cooling system.
29. <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/archives/18/aout/2020/tlemcenzenata/60531.html>
30. <http://data.cder.dz:81/#>
31. Chen, W. and Liu, W., *Numerical analysis of heat transfer in a passive solar composite wall with porous absorber*. Applied Thermal Engineering, 2008. 28(11-12): p. 1251-1258.
32. Mathur, J. and Mathur S., *Summer-performance of inclined roof solar chimney for natural ventilation*. Energy and Buildings, 2006. 38(10): p. 1156-1163.

ملخص

يفسد الحليب لأن الجراثيم تتكاثر في الحليب الساخن أسرع منها في الحليب البارد. أثناء النقل ، يجب ألا تتجاوز درجة حرارة الحليب 10 درجات مئوية عند الوصول إلى الوجهة المقصودة. خزانات من الفولاذ المقاوم للصدأ ، مع عزل خاص ، والتي تضمن درجة حرارة ثابتة تستخدم لتقليل ارتفاع درجة حرارة الحليب أثناء النقل. لا يمكن أن يضمن هذا الحل جودة الحليب الجيدة لفترات النقل الطويلة. الهدف من عملنا هو البحث عن حل يضمن للحليب وقتاً طويلاً للنقل في ظل ظروف مناخية قاسية من خلال دراسة عددية لخزان مخصص لنقل الحليب. الجزء الأول يحلل حالة أولية لصهرج غير معزول. تم إجراء المحاكاة من أجل تحديد المجالات الديناميكية والحرارية لتدفق الحليب. يتم تحديد معادلات الحفظ في ظل النظام الصفحي وغير المستقر وحلها بطريقة الحجم المحدود باستخدام الكود التجاري Fluent 6.3. الجزء الثاني يحلل تأثير دمج العزل الحراري حول الخزان ومبخر مغمور في الحليب من أجل ضمان وقت نقل طويل مع ضمان حماية الحليب.

الكلمات المفتاحية

نقل الحليب ، شاحنة نقل الحليب ، تبريد ، مبخر ، عزل ، إشعاع شمسي

Résumé

Le lait se gâte à cause des germes qui se multiplient plus vite dans le lait chaud que dans le lait froid. Pendant le transport, la température du lait ne doit pas dépasser 10 °C à l'arrivée dans l'établissement de destination. Des citernes en acier inoxydable, dotées d'isolation spéciale, qui assurent une température stable sont utilisées pour minimiser l'élévation de la température du lait au cours du transport. Cette solution ne peut assurer la bonne qualité du lait pour les durées prolongées du transport. L'objectif de notre travail est de rechercher une solution assurant au lait un délai prolongé du transport sous des conditions climatiques sévères à travers une étude numérique d'une citerne destinée au transport du lait. La première partie analyse un cas préliminaire d'une citerne non isolée. Les simulations ont été faites afin de déterminer les champs dynamique et thermique de l'écoulement du lait. Les équations de conservations sous le régime laminaire et instationnaire sont discrétisées et résolues par la méthode des volumes finis à l'aide du code commercial Fluent 6.3. La deuxième partie analyse l'effet d'intégrer une isolation thermique autour de la citerne et un évaporateur immergé dans le lait afin d'assurer un délai du transport prolongé tout en assurant la protection du lait.

Mots clés

Transport du lait, camion-citerne, refroidissement, évaporateur, isolation, rayonnement solaire.

Abstract

Milk spoils due to germs which multiply faster in hot milk than in cold milk. During transport, the temperature of the milk must not exceed 10°C on arrival at the establishment of destination. Stainless steel tanks, with special insulation are used to minimize the temperature rise of the milk during transport ensuring a stable temperature. This solution cannot ensure good milk quality for extended transport times. The main aim of our work is to find a solution which ensure an extended period of transport for milk under severe climatic conditions through a numerical study of a tank intended for the transport of milk. The first part analyzes a preliminary case of an uninsulated tank. The simulations were done in order to determine the dynamic and thermal behaviors of the milk flow. The conservation equations under the laminar and unsteady regime are discretized and solved by the finite volume method using the commercial code Fluent 6.3. The second part analyzes the effect of integrating thermal insulation around the tank and an evaporator immersed in the milk in order to ensure a prolonged transport time while ensuring the protection of the milk.

Key words

Milk transport, tank truck, cooling, evaporator, insulation, solar radiation.