



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Abou Bekr Belkaid

Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Biologie

Laboratoire des Produits Naturels LAPRONA

THESE

Présentée par

M. GUERMOUDI Samir

En vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT 3^{ème} CYCLE LMD

FILIÈRE : SCIENCES ALIMENTAIRES

SPÉCIALITÉ : TRANSFORMATION ET VALORISATION EN AGRO-ALIMENTAIRE

-Intitulée :

**Application de la microbiologie quantitative à l'évaluation du risque microbiologique dans
l'industrie laitière : cas de l'Ouest Algérien**

Soutenu publiquement le : 05/ 10 / 2025 devant le jury :

<i>Professeur</i>	BARKA Saleh	<i>Présidente</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>
<i>Professeur</i>	BOUAMRA Mohammed	<i>Examineur</i>	<i>Univ. Ain Témouchent</i>
<i>Professeur</i>	TEFIANI Choukri	<i>Examineur</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>
<i>Professeur</i>	CHAOUACH Tarek Mohammed	<i>Examinatrice</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>
<i>Professeur</i>	ZIANE Mohammed	<i>Directeur de thèse</i>	<i>Univ. Ain Témouchent</i>

Année universitaire : 2024-2025.

Remerciements

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Mohammed, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Ain Témouchent Belhadj Bouchaib (UBBAT), mon promoteur et directeur de thèse. Son soutien inestimable, sa rigueur scientifique, son écoute bienveillante et ses qualités humaines exceptionnelles ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce projet. Qu'il trouve ici l'expression de mon respect le plus sincère et de ma reconnaissance éternelle.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus respectueux à Monsieur Saleh BARKA, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury. Sa participation éclaire ce travail d'une dimension précieuse.

Ma gratitude s'étend également à Monsieur TEFIANI Choukri ET CHAOUACH Tarik, Professeur à la même faculté de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, qui a généreusement accepté d'examiner ce mémoire. Son expertise et son regard critique ont grandement contribué à enrichir cette recherche.

Enfin, je remercie chaleureusement Monsieur Bouamra, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'UBBAT, pour sa présence au sein de ce jury et ses conseils avisés.

À tous, je témoigne ma profonde appréciation pour l'engagement et la bienveillance dont vous avez fait preuve.



Dédicaces

*À mes chers parents,
À ma mère bien-aimée, aujourd'hui disparue, dont l'esprit veille sur moi.
À mon père, le pilier silencieux, dont la résistance a éclairé mon chemin.
J'espère qu'ils trouveront dans ces pages le reflet de leurs sacrifices sans fin et de leur foi
inébranlable en mon destin.*

*À ma femme, mon partenaire de vie, mon coeur,
À mes enfants ADAM AYMEN IYAD et IMRANE, la lumière de mes jours,
Pour leur patience en mon absence,
Leur amour inconditionnel
Et leurs petits mots qui ont rendu l'impossible possible.*

*À mes frères, sœurs et leurs enfants,
Sources de joie et de réconfort,
Aux précieux membres du [groupe/équipe] laiteries
Qui a accompagné chaque étape de ce voyage,
Fournir un soutien technique et des conseils spécialisés,
Ou simplement une présence réconfortante dans les moments cruciaux.*

*Enfin, à toute âme charitable que je rencontre sur mon chemin :
À ceux qui ont cru en moi avant que j'ose croire en eux,
À ceux dont le simple courage a redonné vie à ma persévérance,
À tous les artisans invisibles de cette réalisation -
Cette œuvre est votre miroir collectif.*

"Rien n'est plus vivant qu'un souvenir."

Samir

الملخص

صُممت هذه الدراسة على ثلاثة أجزاء لتحديد مجموعة بكتيريا *B. cereus sensu lato* في حليب الأبقار الخام المُجمّع من ثلاث شركات في منطقة تلمسان، ثم نمذجة نموها وتراجعها طوال العملية حتى نقطة البيع بناءً على نهج احتمالي، بالإضافة إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والمكروبيولوجية للحليب الخام المُستلم خلال هذه الدراسة. تتوافق الجودة الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لحليب الأبقار المُستلم مع المعايير، بكثافة تزيد عن 1.028، وحموضة قابلة للمعايرة تزيد عن 16 درجة مئوية، ومحتوى دهني يزيد عن 2.8%، باستثناء بعض العيوب في Dairy A. تكشف النتائج البكتريولوجية المُستحصلة أن حليب الأبقار الخام يحتوي على بكتيريا بكتيرية، ولكنه يبقى متوافقاً مع اللوائح ولا يتجاوز عتبة القبول؛ والأهم من ذلك؛ لوحظ خلوه من الجراثيم المُمرضة مثل المكورات العنقودية الذهبية والسالمونيلا. جُمعت 208 عينة من ثلاث شركات مختارة على مدار خمسة أشهر. أظهرت نتائج تعداد أوساط برنامج MYP انتشاراً شهرياً مرتفعاً لبكتيريا *B. cereus sensu lato* في حليب الأبقار الخام. تراوح انتشار جراثيم *B. cereus* من 76% إلى 100% في الشركة A، ومن 75% إلى 100% في الشركة 2، ومن 62.5% إلى 100% في الشركة 3. وفيما يتعلق بتركيزات *B. cereus*، سُجّلت قيمة عالية بلغت 5.2 لوغاريتم (cfu/ml) في الشركة أ، متجاوزة القيمة الحرجة [5 لوغاريتم (cfu/ml)]، بينما بلغت القيمة العالية في الشركة ب 4.77 لوغاريتم (cfu/ml) و 4.78 لوغاريتم (cfu/ml) في الشركة ج. وكشفت هذه الدراسة أيضاً عن نمذجة تركيزات *B. cereus* في جميع مراحل العملية. خلال جميع مراحل التخزين، لم يُقدّر أي نمو خلال مراحل التخزين (2، 4، و5) بناءً على زمن التأخر، سواءً كان أكبر من زمن التخزين. وبالتالي، لم يُبلغ عن أي تغيرات في تركيز بكتيريا *B. cereus* في الحليب المُستلم في المرحلة الأولى. انخفضت هذه التركيزات أثناء البسترة لجميع الشركات إلى تركيز أقل من التركيز الحرج 5 log(cfu/ml).

الكلمات المفتاحية: العصية الشمعية، الحليب، علم الأحياء الدقيقة التنبؤي،

Abstract

This study is designed in three parts to identify the *B. cereus* sensu lato bacteria group in raw cow's milk collected from three companies in the Tlemcen region, then model their growth and decline throughout the process up to the point of sale based on a probabilistic approach, as well as assess the physicochemical and microbiological quality of the raw milk received during this study.

The physicochemical and microbiological quality of the received cow's milk is within the standards, with a density greater than 1.028, a titratable acidity greater than 16°D, and a fat content greater than 2.8%, except for a few deficiencies in Dairy A. The bacteriological results obtained reveal that raw cow's milk contains bacteriological flora, but it remains compliant with regulations and does not exceed the acceptability threshold; but most importantly; The absence of pathogenic germs such as *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* was noted.

A total of 208 samples were collected from three selected companies over a five-month period. The results of the MYP medium count showed a high monthly prevalence of *B. cereus* sensu lato in raw cow's milk. The prevalence of *B. cereus* spores ranged from 76% to 100% in Company 1, from 85% to 100% in Company 2, and from 62.5% to 100% in Company 3. Regarding *B. cereus* concentrations, a high value of 5.2 log(cfu/ml) was counted in Company A, which exceeded the critical value [5 log(cfu/ml)], while the high value in Company B was 4.77 log(cfu/ml) and 4.78 log(cfu/ml) for Company C.

This study also revealed that *B. cereus* concentrations were modeled at all process stages. During all storage stages, no growth was estimated during storage stages (2, 4, and 5) based on the lag time, whether it was higher than the storage time. Thus, no changes were reported for the concentration of *B. cereus* in the milk received at the first stage. These concentrations decreased during pasteurization for all companies to a concentration below the critical concentration 5 log(cfu/ml)

Keys words: *B. cereus*, milk, predictive microbiology, self-control

Résumé

La présente travail est conçu en trois partis a pour but de la recherche de groupe de bactéries *B. cereus sensu lato* dans le lait cru de vache collecté auprès de trois entreprises de la région de Tlemcen, puis la modélisation leur croissance et leur diminution dans tout au long du processus jusqu'au point de vente en se basant sur l'approche probabiliste., ainsi que l'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique du lait cru réceptionnés au cours de cette étude.

La qualité physicochimique et microbiologique du lait de vache réceptionnés est dans les normes, avec une densité supérieure à 1,028, l'acidité titrable est supérieure de 16°D, le taux de matière grasse est supérieur de 2,8% sauf quelques défaillances pour la laiterie A. Les résultats bactériologiques obtenus révèlent que le lait de lait vache cru contient des Flore bactériologiques mais il reste conforme à la réglementation et ne dépassent pas le seuil d'acceptabilité ; mais le plus important ; On a remarqué l'absence des germes pathogènes talque *staphylocoques aureus* et des *salmonelles*.

Au total, 208 échantillons ont été collectés auprès de 3 entreprises sélectionnées pendant 5 mois. Le résultat du comptage sur milieu MYP a montré une forte prévalence mensuelle de *B. cereus sensu lato* dans le lait cru de vache. La prévalence des spores de *B. cereus* est comprise entre 76% et 100% dans la société 1 et 85% et 100% dans la société 2 et entre 62,5% et 100% dans la société 3. En ce qui concerne les concentrations de *B. cereus*, une valeur élevée est de 5,2 log(ufc/ml) compté dans la société A qui dépasse la valeur critique [5 log(ufc/ml)] tandis que la valeur élevée dans la société B est de 4,77 log(ufc/ml) et de 4,78 log(ufc/ml) pour la société C.

Cette étude a révélé aussi que les concentrations de *B. cereus* ont été modélisées à toutes les étapes du process. Au cours de toutes les étapes de stockage, aucune croissance n'a été estimée pendant les étapes de stockage (2, 4 et 5) en fonction du temps de latence qu'elle soit plus élevée que le temps de stockage. Ainsi, aucun changement n'a été signalé pour la concentration de *B. cereus* dans le lait reçu lors de la première étape. Ces concentrations diminuaient au cours de la pasteurisation pour toutes les entreprises jusqu'à une concentration inférieur a la concentration critique 5 log(ufc/ml).

Mot clé : *B. cereus*, lait cru, microbiologie prévisionnelle, autocontrôle

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION	1
--------------	---

CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LE LAIT ET SA PRODUCTION

I.1.1. Généralité sur le lait vache.....	3
I.1.2. Composition du lait.....	3
I.1.3. Filière laitière en Algérie : le lait est une composante majeure du secteur agro-alimentaire et de l'économie nationale	4
I.1.4. Stratégies de la filière laitière	5
I.1.4. 1. Commercialisation du lait en Algérie.....	5
I.1.4. 2. Production laitière en Algérie.....	6
I.1.4. 3. Difficultés et les obstacles de filières laiteries retrouver dans l'Algérie..	6
I.1.5. Démarche générale de production du lait cru en Algérie	7
I.1.5.1. Opération de traite	7
I.1.5.2. Transporte du lait cru.....	8
I.1.5.3. Réception de matières premières (laits cru).	9
I.1.6. Réglementation Algérienne	10
I.1.7. Les étapes de nettoyage en place classique dans les laiteries	10

Chapitre 2 Généralités sur *B. cereus sensu lato*

II.2. 1. Caractéristique générale de groupe <i>B. cereus sensu lato</i>	13
II. 2. Sporulation de <i>B. cereus</i>	13
II. 3. Formation des biofilms	14
II. 4. Toxines émétique et diarrhéique	15
II. 4. 1. Toxines Diarrhéique	15
II. 4. 2. Toxine émétique (céréulide).....	16

II. 5. Croissance de <i>B. cereus</i> dans différentes conditions	16
II.6. Perte économique liées aux bactéries sporulées et pathogènes	17
II. 7. Thermorésistante des spores de <i>B. cereus</i>	18
II. 8. Phylogénétique de <i>B. cereus</i>	19
II. 9. Paramètres cardinaux des souches de <i>Bacillus cereus</i>	20

CHAPITRE III GENERALITE SUR LA MICROBIOLOGIE

PREVISIONNELLE.

III. 1. Contexte et importance de la microbiologie prédictive en sécurité alimentaire	21
III. 2. Applications de la microbiologie prévisionnelle	21
III. 2.1. Applications de la microbiologie prévisionnelle dans les domaines industrielle	21
III. 2.2. Utilisation de la microbiologie prévisionnelle	22
III. 2. 3. La microbiologie prévisionnelle se base sur trois familles des modèles ...	23
<u>Les modèles primaires</u>	23
<u>Les modèles secondaires</u>	23
<u>Les modèles tertiaires</u>	23
III. 3. Logiciels utilisés dans la microbiologie quantitative prévisionnelle	24
III. 4. Les distributions de probabilité dans la simulation de Monte Carlo	25
III.4.1. Distributions de probabilité couramment utilisées	25
III. 4. 1.1. Distribution normale (courbe en cloche).....	26
III. 4.1.2. Distribution Uniform	26
III. 4.1. 3. Distribution triangulaire	26
III. 4.1. 4. Distribution PERT	28
III. 4.1. 5. Autres distributions de probabilité	30
	31

III. 5. Le modèle stochastique	31
III. 6. Implémentation du modèle MPRM	31
MATERIEL ET METHODES	
II.1. Géographique de zone d'étude	31
II.1. Géographique de zone d'étude	32
II.2. Caractéristique et description de laiteries sélectionnées transformation du lait	32
II.3. Critères de choix des laitiers sélectionnés	32
II.4. Description et caractéristique générale des installations des laiteries sélectionnées :	32
III.4.1. Réception du lait	33
II.4. 2. Stockage avant pasteurisation	33
II. 4. 3. Pasteurisation du lait dans les laiteries	33
II. 4. 4. Stockage après pasteurisation	33
II. 4. 5. Distribution du lait	34
II. 5. Modular Risk Process Model MRPM	35
II. 5. 1. Module 1 : Distribution de <i>B. cereus sensu lato</i> dans le lait réceptionné	35
II. 5. 1. 1. Recherche et dénombrement de <i>B. cereus sensu lato</i>	35
<u>Echantillonnages de lait cru réceptionné</u>	35
<u>Traitement des échantillons lors d'analyse microbiologique</u>	35
<u>Recherche et dénombrement de <i>B. cereus sensu lato</i></u>	36
<u>Dénombrement des colonies présumées de <i>B. cereus</i></u>	37

II. 5. 1. 2. Distribution de la concentration initiale de <i>B. cereus</i> dans le lait de vache	37
collecté	37
<u>Fréquence de contamination ($f_{contamination}$)</u>	38
<u>Distribution de la concentration de <i>B. cereus sensu lato</i></u>	39
II. 5. 2. Module 2 : Modélisation de la croissance de <i>B. cereus sensu lato</i> dans le lait	41
II. 5. 2. 1. Estimation des paramètres de croissance de <i>B. cereus sensu lato</i>	41
II. 5. 2. 2. Estimation de la concentration de <i>B. cereus sensu lato</i> à chaque étape du procédé	41
procédé	42
II. 5. 3. Module 3 : Modélisation de survie de <i>B. cereus sensu lato</i> lors de la pasteurisation	44
II. 5. 3. 1. Estimation de paramètres de thermorésistance	44
II. 5. 3. 2. Estimation de la concentration de <i>B. cereus</i> après pasteurisation	45
II. 6. Simulation de modèle	47
RESULTATS ET DISCUSSION	
III.1. Prévalence et dénombrement de <i>B. cereus</i> dans le lait cru	49
III. 2. Modélisation de la croissance de <i>B. cereus</i> durant le process de fabrication du lait pasteurisé	49
III. 2. 1. Module 1 : Croissance de <i>B. cereus</i>	51
III. 2. 1. 1. Critère de process de chaque étape	54
III. 2. 1. 2. Réception du lait cru (module H_0)	57
III. 2. 1. 3. Stockage du lait cru (Module G_1)	58

III.	2.	1.	4.	Paramètres	de
pasteurisation					
III.	2.	1.	5.	Tanks de stockage Module G ₂	
III.	2.	1.	6.	Conservation au réfrigérateur Modules G ₃	
III.	2.	1.	7.	Distribution du lait pasteurisé Modules G ₄	
III.	2.	1.	8.	<i>Estimation des paramètres de thermorésistance de <u>B. cereus</u></i>	
III.	2.	1.	9.	Estimation des paramètres de croissance de <i>B. cereus</i> à différentes	
				étapes	
III.	2.	1.	10.	Simulation de croissance de <i>B. cereus</i> dans les laiteries étudiés	
III.	2.	1.	11.	Croissance de <i>B. cereus</i> pendant la distribution du lait pasteurisé à la	
				température	
				ambiante	
				<i>Laiterie A</i>	
				LaiterieB	
				Laiterie C	
VI CONCLUSION					
Recommandation et perspectives					
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....					

Liste des tableaux

Tableau n°1 : la composition de lait de vache en chiffres.....	4
Tableau 2: Caractéristiques des souches <i>B. cereus</i> étudiés par Guinebertière et al. (2010).....	20
Tableau 3: les valeurs de concentration de <i>B. cereus</i> dans le lait cru.....	45
Tableau 4 : Prévalence de <i>B. cereus</i> et le nombre des échantillons non contaminé dans laitières.....	3 43
Tableau 5 : Temps (min) et la température (°C) pour chaque étape du traitement du lait jusqu'au point de vente.....	46
Tableau 6 : Température cardinale, les paramètres de résistance à la chaleur de <i>B. cereus sensu lato</i> recueillis dans la littérature.....	48
Table 7 : Concentration de <i>B. cereus</i> à toutes les étapes du processus de fabrication du lait pasteurisé.....	51 53
Tableau 8 : Distribution de <i>B. cereus</i> au moment de la distribution.....	

Liste des figures

Figure 1: Photo comparatif des méthodes de traite (mécanisée et manuelle).....	6
Figure 2 : Transporte du lait dans les citerne inox isothermique cru	8
Figure 3: Etape de réception du lait cru	9
Figure 5: Observations microscopique de la coloration de malachite.....	12
Figure 6: Structure générale des endospores (<i>Bacillus anthracis</i>).....	12
Figure 7: Distribution de <i>B. cereus</i> dans les échantillons analysés.....	13

INTRODUCTION

Introduction

Le lait est un produit alimentaire naturel qui offre une grande variété de nutriments, le lait est également une excellente source de vitamines B12 et B2, Il est riche en protéines, en glucides et en lipides, ce qui en fait une excellente source d'énergie et de nutriments qui contribuent à la santé et au bien-être en général pour les personnes de tous âges.

Depuis de nombreuses années, le peuple algérien est le principal consommateur de lait en Afrique et au Maghreb le lait pasteurisé constitue 60% des sortes de lait de vache consommées en 2014 (Baazize-Amami et al., 2019). Le processus de pasteurisation élimine presque toutes bactéries végétatives, mais l'effet sur les bactéries sporulées et les toxines associés à des syndromes émetiques et diarrhéiques, en particulier des groupes *B. cereus* en fonction de leurs caractéristiques de résistance à la chaleur reste moindre ou il n'a pas (ou peu), Malheureusement, en Algérie, les *B. cereus* et les toxines ne sont pas recherchés dans le lait cru et pasteurisé selon JORAD N°39 (2017) qui pose un réel risque de contamination des aliments qui introduit aussi une des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC).

Dans l'industrie agroalimentaire la qualité hygiénique et technologique prend une grande part de l'attention des entreprises en générales et les laiteries en particulier pour éviter les pertes économiques et pour préserver la santé des consommateurs. Pour cela, des analyses physico-chimiques et microbiologiques dans des laboratoires auto-contrôle ou de prestation de services est toujours fait pour la conformité de la matière première et le produit fini mais il reste Face aux efforts effectués par ces laboratoires et la réalité du risque présente à un haut niveau, il est indispensable d'utiliser de la microbiologie prévisionnelle.

La microbiologie prévisionnelle a pour but de prédire l'évolution des micro-organismes dans les aliments par des modèles mathématiques basée sur l'hypothèse que les réponses de populations de micro-organismes à des conditions environnementales identiques sont reproductibles.

L'approche de cette étude a été scindée en parties de travail bien distinctes :

- Suivi de processus de la réception de lait cru jusqu'à la distribution du lait pasteurisé pendant période d'étude.

- Collecte des données dans les laiteries sélectionnées pendant période d'étude ;
- Suivi de la qualité microbiologique et physico-chimique du lait réceptionné au niveau de laboratoire d'auto-contrôle, durant les quatre saisons ;
- Recherche des *B. cereus* pour évaluation de prévalence dans le lait cru ;
- Simulation de prévalence de *B. cereus* à l'aide des logiciels des simulations.

Pour ce faire, la thèse a été structurée en trois parties : la première partie est consacrée à une revue bibliographique à jour répartie en trois parties :

1. Une synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres : (1) Généralités sur le lait et sa production, (2) Généralités sur *B. cereus* et (3) Généralités sur la microbiologie prévisionnelle ;
2. Une deuxième partie consacrée à la présentation de la méthodologie microbiologique et aux

techniques utilisées dans le dénombrement de *B. cereus*, la modélisation par Monte Carlo simulation.

3. Enfin, les résultats obtenus sont rapportés et discutés dans la troisième et la dernière partie.

I). SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LE LAIT ET SA PRODUCTION

I.1.1. Généralité sur le lait vache

Le lait est un mélange complexe d'éléments nutritifs majoritaires et minoritaires et est une source particulièrement riche en graisses, en protéines, en glucides, en minéraux et en vitamines, du calcium, de la vitamine B12 et de la riboflavine, en particulier. Le lait et les produits laitiers constituent les aliments d'origine animale les plus abordables dans le monde pour les pays à revenu faible et intermédiaire. Dans les enjeux de développement, la production laitière participe de la recherche d'une source de moyens de subsistance pour les petits producteurs laitiers **Nyokabi et al. (2021)**.

Le lait a été défini comme « l'aliment le plus proche de la perfection » et présente une qualité nutritionnelle exceptionnelle avec des pleins et riches apports en calcium et phosphore, nécessaires à la minéralisation des os et des dents, et en vitamines B6, A et B1 (**O'Mahony, 1988**). Le lait contient plusieurs nutriments qui contribuent à la bonne santé humaine contribuent au développement et au maintien d'os et des dents solides. Il s'agit notamment du calcium, des protéines, du magnésium, du potassium et du phosphore, Le calcium est essentiel à la minéralisation et à la solidité des os, tandis que les protéines sont nécessaires à la formation et à la réparation des os. Le magnésium et le potassium sont impliqués dans le métabolisme osseux et le maintien de la densité osseuse. Le phosphore est un autre minéral important pour la santé des os.

-

I.1.2. Composition du lait

Le lait est un aliment complexe, caractérisé par un fonctionnement basé sur un certain équilibre chimique, qui est essentiel à sa qualité nutritionnelle et au bon fonctionnement de ses propriétés physico-chimiques. Ce fonctionnement repose sur un équilibre entre l'eau, les matières grasses, les protéines, le lactose, les minéraux et les vitamines. Le tableau n°1 ci-dessous, qui est extrait et adapté de Vignola (2010), présente de façon chiffrée les principales constitutions du lait de vache, ce qui permet d'envisager une étude quantitative de son fonctionnement.

Tableau n°1 : la composition de lait de vache en chiffres **Vignola, 2010.**

	Composant g/l	État physique des composants
- Eau	905	Eau libre (solvant) + eau lié 3.7%
- Glucides : lactose	49	Solution
Lipides	35	-
- Matières grasse	34	- Emulsion des globules gras (3 à 5 microns)
- Lécithines (phospholipides)	0.5	-
- Parties insaponifiables (stérols, carotènes, tocophérols).	0.5	-
Protides	34	Suspension micellaire de phosphocaséinate de calcium (0.08 à 0.12 microns).
- Caséine	27	-
-Protéines solubles (globulines, albumines)	5.5	- solution colloïdale
- Substance azotées non protéique	1.5	- solution vraie
Sels	9	- Solution ou état colloïdale
- de l'acide critique (en acides)	2	-Sel de K, Na, Ca, Mg ...etc.
- de l'acide de phosphorique (PO)₄	2.6	
- de l'acide chlorhydrique (NaCl)	1.7	
Constituants divers (Vitamines, enzymes, gaz dissous)	Traces	
-Extrait sec (total)	127	
- Extrait sec non gras	92	

Les principaux facteurs de variation de la composition chimique du lait sont bien connus. Ils sont liés soit à l'animal (facteurs génétiques, stade physiologique, état sanitaire) ou au milieu (saison, alimentation, traite) (**Hoden et al. 1991**).

I.1.3. Filière laitière en Algérie : le lait est une composante majeure du secteur agro-alimentaire et de l'économie nationale

En Algérie, le secteur laitier est un pilier important de l'industrie agroalimentaire et de l'économie du pays. La filière laitière en Algérie comprend plusieurs acteurs, de la production laitière à la distribution des produits laitier :

- Production laitière : En Algérie, la production laitière est principalement assurée par des exploitations agricoles, des fermes laitières et des coopératives laitières. Le pays dispose de ressources naturelles favorables à l'élevage laitier, notamment dans les régions côtières et les hauts plateaux.
- Transformation laitière : Une fois le lait collecté, il est transformé dans des laiteries industrielles en différents produits laitiers tels que le lait pasteurisé, le yaourt, le fromage, la crème et le beurre, entre autres.
- Distribution et commercialisation : Les produits laitiers sont distribués à travers tout le territoire algérien, des grandes villes aux petites localités, à travers différents canaux de distribution tels que les supermarchés, les épiceries et les marchés locaux.

I.1.4. Stratégies de la filière laitière

I.1.4. 1. Commercialisation du lait en Algérie

Le lait cru est généralement commercialisé selon deux chemins distincts selon **Belhadia et al. (2019)** ; le circuit de vente formel indirect ou de collecte, Le lait est obtenu auprès de producteurs de lait cru agréés et subventionnés par l'État, il est destiné aux laiteries bien déterminer où ça qualité est contrôlé pour passer à la transformation (pasteurisation, fermentation).

Les producteurs (des petits élevages non agréés) du lait cru utilisent une partie de ces productions non collectées pour l'autoconsommation, mais une quantité importante qui reste est vendue par des circuits et d'une manière non contrôlée (informels).

La distribution de 21% de la production nationale se fait via le circuit informel, où elle est vendue sous forme de lait cru ou transformée localement de manière artisanale en l'absence de normes qualitatives peuvent présenter un risque pour la santé du consommateur (**Baazize-Amami et al., 2019**).

I.1.4. 2. Production laitière en Algérie

L'utilisation des produits laitiers varie selon la localité et le mode de vie en Algérie. Le lait et ses les produits laitiers constituent une source des protéines d'origine animale pour les Algériens. Parce que le coût de la viande de bœuf et de mouton n'a cessé d'augmenter, ce qui le rend inaccessible pour une partie importante de la population. D'autre part, la valeur au détail du lait pasteurisé est fixe depuis des années, ce qui entraîne une consommation élevée. La production nationale ne répond qu'à une fraction mineure des besoins en lait industriel puisque 750 millions de litres de lait sont actuellement collectés alors que les applications industrielles représentent environ 3 milliards de litres. Néanmoins, les efforts du gouvernement algérien pour améliorer la production de lait commencent à porter leurs fruits, car de plus en plus d'articles sont découverts fabriqués, entièrement ou partiellement, à partir de lait frais (**Hirondel, 2014**). L'objectif de l'Algérie est d'améliorer la production à la fois quantitativement et qualitativement en développant le cheptel, en améliorant la nutrition et le potentiel génétique (importations de races laitières efficaces et insémination), à l'aide de structures adaptées, d'une hygiène améliorée, d'un réseau de collecte efficace, d'une gestion raisonnée des exploitations. L'Algérie est le premier consommateur de produits laitiers du Maghreb. Le pays consomme environ 6 milliards de litres de lait équivalent par an (tous types de lait confondus), dont 4 milliards de litres sont des produits transformés et près de 2 milliards de litres seraient attribués à l'autoconsommation et à l'alimentation des veaux. 3 milliards de litres sont apportés sous forme de poudre, 250 millions sous forme de fromages et 150 millions sous forme de poudres pour nourrissons (**Hirondel, 2014**).

I.1.4. 3. Difficultés et les obstacles de filières laiteries retrouver dans l'Algérie

Différents éléments entravent le développement de la production laitière : la faible productivité des élevages de bovins laitiers, qui est le résultat de la combinaison de divers facteurs liés à la gestion de l'élevage, à l'insuffisance et à la faiblesse de l'alimentation, ainsi qu'à une maîtrise technique médiocre. De plus, d'autres facteurs tels que les coûts de production élevés et les prix du lait payés aux producteurs sont jugés insuffisants par rapport à d'autres activités agricoles.

Le secteur laitier algérien est fortement influencé par l'intervention de l'État, qui touche tous les aspects de la chaîne de production et limite l'augmentation de la collecte locale

de lait (**Himeur 2023**). Pour relever ces défis et améliorer les moyens de subsistance des petits producteurs de lait, il est nécessaire de réformer le système de vulgarisation et de conseil agricoles, de mettre en œuvre des stratégies résilientes pour éliminer le gaspillage et améliorer l'efficacité des opérations logistiques, et de développer une véritable stratégie de souveraineté alimentaire qui équilibre le soutien à la production locale et au commerce international **Mamine et Al., 2021**.

Le secteur laitier algérien fait face à plusieurs difficultés et obstacles. Les agriculteurs ont un accès limité au soutien technique, au financement et aux terres agricoles, ce qui les empêche de prévoir et de planifier l'avenir **Meskini et al. (2023)**.

Des systèmes d'alimentation inefficaces et un manque de coordination dans le développement des connaissances contribuent à une faible production fourragère et entravent la productivité des exploitations laitières. L'asymétrie du pouvoir entre les producteurs laitiers et les industriels agroalimentaires, ainsi que le manque de collaboration et d'interaction entre les acteurs, entravent encore davantage le système d'innovation dans le secteur laitier .

De plus, le climat aride et rigoureux de certaines régions d'Algérie pose des défis à la production laitière, nécessitant une gestion agricole stratégique et fiable pour améliorer la gestion des troupeaux et maximiser la production **Bessaoud, 2019**.

Ces obstacles et difficultés soulignent la nécessité de réformer le système de vulgarisation et de conseil agricoles, d'améliorer les systèmes d'alimentation et de renforcer la collaboration et la coordination entre les parties prenantes afin d'améliorer la durabilité et la productivité du secteur laitier en Algérie.

I.1.5. Démarche générale de production du lait cru en Algérie

Le lait est un aliment quotidien banal, essentiel pour les enfants et la plupart des adultes ou il est consommé sous une forme ou une autre chaque jour de leur vie. C'est un produit nutritionnel agricole majeur et sa production est un élément important. Au-delà de la ferme jusqu'à la cuisine, il passe par des étapes de complexité technique croissante avant de se retrouver (**Crossley, 1970**).

I.1.5.1. Opération de traite

Pour la plupart des fermes productrices du lait de vache, généralement la traite se fait mécaniquement à l'aide de chariot ou manuellement à la main. Et d'autre part les fermes ne

disposent pas d'une salle spécialisée de traite. Pour cela, pour assurer l'hygiène au moment de la traite, procèdent au lavage des trayons avant l'opération de la traite, utilisent de l'eau javellisée pour la désinfection des mamelles avant la traite (Sassi, 2019).



Figure 1: Photo comparatif des méthodes de traite de lait de vache (mécanisée et manuelle)

Le lait produit est stocké dans des tanks réfrigérants ou dans des bidons en aluminium et en plastique. Le lait produit dans toutes les exploitations est utilisé soit pour la consommation personnelle, et pour l'aliment des veaux. Et la majorité du lait produit restant est transféré aux usines de transformations laitières (Sassi, 2019).

I.1.5.2. Transporte du lait cru

Le lait cru collecter à partir les fermes conventionnées par la réglementation pour assurer la traçabilité hygiénique et financière, le lait cru doit être transporté dans des camions citernes réfrigéré réservé uniquement pour le transport du lait cru qui remplissent les exigences de la réglementation (arrêté interministériel).



Figure 2 : Transporte du lait dans les citerne inox isothermique cru www.dz-cominox.com

I.1.5.3. Réception de matières premières (laits cru).

Lorsque le lait de vache cru arrive à la laiterie, des échantillons sont prélevés pour tous les collecteurs pour les analyses physicochimiques et bactériologiques pour vérifier la conformité hygiénique (bactéries pathogènes) et technologique (bactérie altération, acidité ...etc.). La validation de la conformité du lait réceptionné tenir passe pour l'étape suivante (stockage du lait) sinon doit être rejeté.



Figure 3: Etape de réception du lait cru

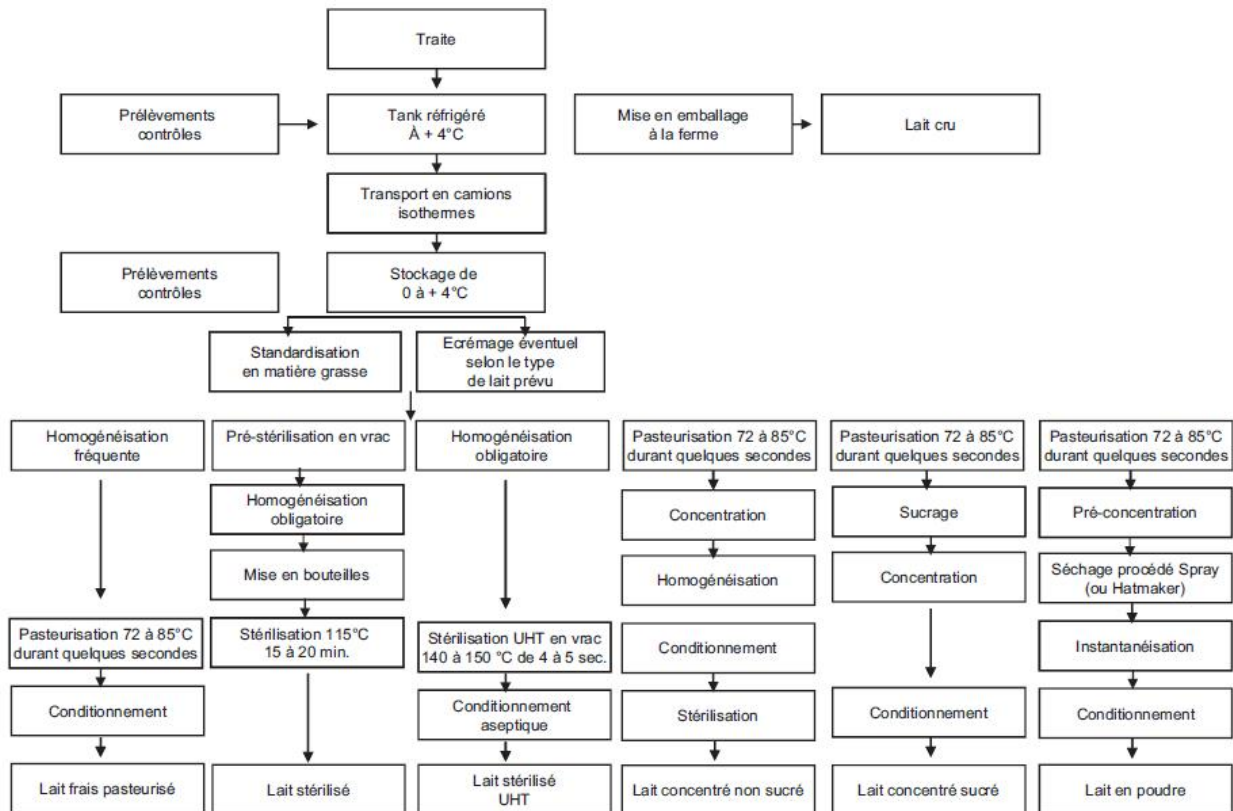


Figure 4: Diagramme général d'une ligne de transformation du lait cru et les produits laitiers (Vignola, 2010).

I.1.6. Réglementation Algérienne

Il faut noter que la réglementation nationale Algérienne du contrôle du lait est représentée par l'arrêté interministériel de 29 Safar 1414 correspondant au 18 Aout 1993 relatif à la spécification et à la présentation de certains laits de consommation p. 16. JORA N° 69 du 27-10-1993 regroupe toutes les exigences relatives à la fabrication du lait pasteurisé.

I.1.7. Les étapes de nettoyage en place classique dans les laiteries

Le système de nettoyage en place est un ensemble d'éléments autonomes permettant la circulation, à l'intérieur d'un matériel non démonté, de la bonne solution de nettoyages et d'assainissement, à la bonne concentration, au bon endroit, à la bonne température, au bon débit, avec la bonne action mécanique et pendant le temps de contact adéquat. La juste combinaison de ces divers facteurs va permettre un nettoyage et un assainissement correct du matériel des surfaces en contact avec le produit (Vignola, 2010).

Un cycle de nettoyage par NEP, en général, peut comprendre sept étapes consécutives (Vignola, 2010) :

1. Rinçage Préliminaire.

Le rinçage préliminaire est la première étape du cycle de nettoyage en milieu industriel laitiers pour l'évacuation des restes non adhérents. Pour cela, on utilise autant que possible de l'eau potable, mais aussi, en fonction des matériels à nettoyer, les vapeurs condensées issues de l'évaporation sous vide du lait. Cela va ramasser les souillures les plus faciles, ce qui prépare la surface pour les étapes suivantes de nettoyage.

2. Nettoyage Alcalin.

Le nettoyage alcalin est la seconde étape du cycle de nettoyage en place dans l'industrie laitiers peut, en général, se l'on va utiliser un nettoyant alcalin pour nettoyer les restes organiques et les souillures plus tenaces. Cette étape est fondamentale pour assurer la propreté des équipements et des surfaces afin de garantir la sécurité alimentaire et la qualité des produits. En effet, il est nécessaire de choisir le bon nettoyant alcalin, en adéquation avec les matériels et surfaces à nettoyer, et surtout de respecter les consignes du fabricant pour une bonne utilisation des produits de nettoyage préconisée respectivement peut se l'on va utiliser un nettoyant alcalin pour nettoyer les restes organiques et les souillures plus tenaces. Cette étape est fondamentale pour assurer la propreté des équipements et des surfaces afin de garantir la sécurité alimentaire et la qualité des produits. En effet, il est nécessaire de choisir le bon nettoyant alcalin.

3. Inter-rinçage (1)

L'étape d'inter-rinçage (1) consiste à rincer les résidus de détergent alcalin après un nettoyage de surface. La présence de résidus de détergent lors du nettoyage de la surface à nettoyer, lorsqu'elle est mise en contact avec les produits alimentaires ne peut conduire à aucune contamination alimentaire, d'une part. D'autre part, l'élimination des résidus de détergent contribue à la sécurité alimentaire, car l'éventuel résidu de détergent n'est pas sans danger pour la santé.

Récupérer des eaux de rinçage de l'inter-rinçage (1) est également intéressant sur le plan économique et de l'environnement. En récupérant les eaux de rinçage, qui ont permis d'éliminer le résidu de détergent alcalin, celles-ci peuvent être réutilisées lors du rinçage préliminaire de la surface suivante, ce qui permet de réduire la consommation globale d'eau à travers la gestion de ressources durables. De plus en plus, les eaux de rinçage récupérées

peuvent également être utilisées pour la valorisation, des eaux coûtant moins cher que l'eau nécessaire à l'approvisionnement, de même que pour l'élimination des eaux usées.

4. Nettoyage acide (2)

Le nettoyage acide est une étape fondamentale dans le cycle de nettoyage laitier, car il permet l'élimination, après nettoyage alcalin, des souillures minérales restantes dans les tuyauteries et surfaces de production destinées à être utilisées pour la fabrication d'aliments. Sans cela, des résidus minéraux resteraient dans ces équipements et pourraient atteindre les produits fabriqués, ce qui représente un risque inacceptable sur le plan sanitaire.

Les acides utilisés pour le nettoyage acide sont principalement l'acide citrique et l'acide nitrique. Ce dernier, utilisé à son tour en solutions acides, vient à bout des dépôts minéraux dans les installations. Il faut bien sûr manipuler ces produits avec précaution au-delà de toute autre précaution, car ils sont corrosifs.

5. Inter-rinçage (2)

L'inter-rinçage (2) est l'étape permettant d'évacuer les résidus de détergent acide (étape 4) après nettoyage acide. Étape facultative mais essentielle pour garantir la propreté des équipements, cette opération permet également d'éviter les contaminations inter produits. L'application stricte des recommandations est nécessaire et doit faire partie intégrante de la méthode de nettoyage si elle veut aboutir à l'atteinte des objectifs de propreté.

6. Assainissement

L'assainissement dans un milieu agro-alimentaire est l'opération en général réalisée le plus proche du démarrage des opérations de production. On peut alors utiliser un assainisseur chimique, de l'eau chaude ou un mélange des deux. L'objectif principal de l'assainissement est d'éliminer les bactéries et autres contaminants de la surface des équipements et de l'environnement avant la mise en œuvre de la production et de garantir la sécurité sanitaire des aliments produits. L'application de l'assainissant doit être suivie du rinçage soigneux de toutes les surfaces pour éliminer tout résidus chimiques pouvant être nocif.

7. Rinçage final à l'eau potable

Au sein de l'industrie laitière, le rinçage final à l'eau potable représente une étape fondamentale du processus de nettoyage, pour assurer l'élimination intégrale des résidus de

produits assainissant. Notamment, dans le cadre d'un assainissement chimique pour lequel il assure que les produits chimiquement n'ont pas été laissés dans le circuit, au même titre que les produits de nettoyage. S'assurer de l'absence de résidus, pour faire un nettoyage efficace permet de garantir la sécurité des produits issus des circuits de production, tout résidu pouvant être susceptible de nuire à la santé du consommateur. A cet égard, il est convenable de s'assurer que l'eau utilisée est bien conforme aux critères de qualité en matière d'eau potable. C'est aussi une garantie pour éviter un désagrément en termes d'odeur, goût, texture des produits laitiers.

Pour effectuer un rinçage final efficace, il est recommandé d'utiliser de l'eau potable conforme aux critères de qualité en matière d'eau potable, ce qui implique que l'eau soit propre, et surtout exempte de toute contamination microbiologique ou chimique. En outre, il paraît utile de prévoir des procédures de rinçage final clairement définies, des procédures intégrant des vérifications régulières pour que l'on puisse s'assurer de l'efficacité de l'élimination de potentiels résidus de produits utilisés lors de la phase de nettoyage. Enfin, il apparaît important de former le personnel sur les bonnes pratiques du rinçage final pour garantir le bon endroit, dans juste timing, à cette étape clé dans le processus de nettoyage du milieu industriel alimentaire.

Chapitre 2

Généralités sur *B. cereus sensu lato*

I.2. 1. Caractéristique générale de groupe *B. cereus sensu lato*.

B. cereus sensu lato est un groupe de bactéries sporulées et en forme de bâtonnets. Gram positives, type respiratoire anaérobies facultatives, catalase positives, ainsi les souches de *B. cereus* sont généralement considérées et connu comme des bactéries ubiquitaires produisant des endospores pour assurer la survie dans des conditions extrême et sous-optimales d'un part, et d'autre part pour la survie dans le traitement thermique. Ce groupe comprend une variété d'espèces phylogénétiques presque identiques avec des caractéristiques phénotypiques et pathogènes divers. Pour la détection et le dénombrement des spores et formes végétatives de *B. cereus* dans les produits alimentaires, le milieu généralement utilisé est le milieu gélosé de Mossel dont le principe de fonctionnement est basé sur les trois caractéristiques des souches de *B. cereus* (Afnor, 2005) :

- L'absence de fermentation du mannitol par *B. cereus*.
- La présence d'une enzyme lecithinase chez la majorité des souches de *B. cereus*.
- La résistance contre l'antibiotique de type polymyxine B à 10 mg/L.

I.2. 2. Sporulation de *B. cereus*

Des spores sont des omniprésent et a été détectées dans une variété d'environnements naturels, en particulier dans le sol, qui est le principal foyer naturel pour les spores bactériennes (Vilain et Al., 2006).

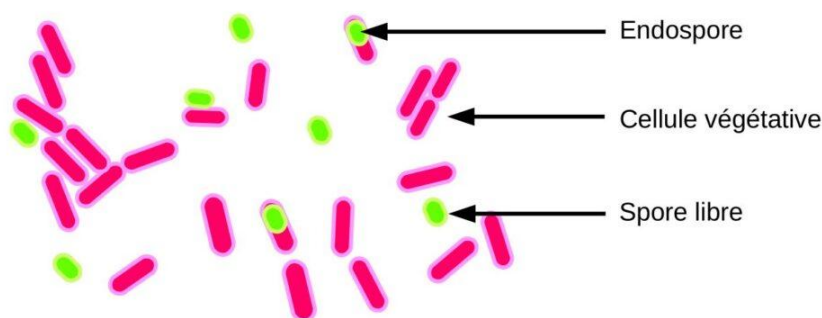


Figure 5 : Observations microscopique de la coloration de malachite

Les spores sont colorées en vert par le vert de malachite tandis que les cellules sont colorées en rose par la safranine.

La forme sporulée est formée lorsque les conditions environnementales de la bactérie sont défavorables à la survie de bactérie. Et Inversement, lorsque les conditions favorables sont présentes pour elle, la spore va entamer son retour à l'état végétatif par la germination (Foster and Johnstone, 1990).

Selon Carlin, 2011 les endospores concernent principalement des bactéries Gram positives, appartenant notamment aux genres largement répandus dans l'environnement *Bacillus* et

Clostridium. Sachant que les endospores la résistante pour se développer dans diverses procédures de transformation des aliments et le traitement thermique (séchage et pasteurisation) (Ubong et al., 2013).

La couche externe dure de ces endospores résiste à facteur d'influence extrinsèque comme la chaleur, aux produits chimiques, ce qui permet à la spore une résistance souvent à la température allant jusqu'à 126°C pendant plus de 90 minutes (Pillai et al., 2006).

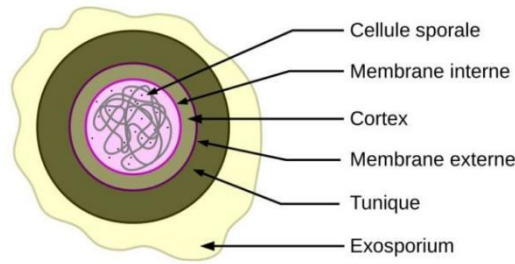


Figure 6: Structure générale des endospores (*Bacillus anthracis*) ;

- **Paroi protectrice** : Les spores sont entourées par une paroi protectrice spéciale composée de protéines et de peptidoglycanes qui les rendent résistantes aux dommages causés par la chaleur.
- **Faible contenu en eau** : Les spores ont un contenu en eau très faible, ce qui les rend moins sensibles aux températures élevées qui pourraient endommager les cellules bactériennes normales.
- **Production de métabolites protecteurs** : Pendant la sporulation, *B. cereus* produit des métabolites spécifiques qui aident à protéger la spore contre les effets néfastes de la chaleur. Grâce à ces mécanismes de défense, les spores de *B. cereus* peuvent survivre à des températures de cuisson élevées, ce qui les rend potentiellement dangereuses dans les aliments mal manipulés ou mal cuits. Il est donc essentiel de suivre des bonnes pratiques d'hygiène et de cuisson pour éviter tout risque de contamination par cette bactérie pathogène.

I.2. 3. Formation des biofilms

Les biofilms bactériens sont généralement définis comme des Assemblage hétérogène ou attachement de cellules bactériennes à une surface et enrobés d'une matrice polymérique, ce qui protège les bactéries contre les désinfectants et les antibiotiques (Tremblay et al., 2014).

La formation d'un biofilm est en général associée à la pathogénicité et la résistance aux agents antimicrobiens ce qui correspond aussi au groupe *B. cereus* où ont la capacité de former des biofilms (Auger et al., 2006).

Dans l'industrie laitière, la contamination après le traitement thermique se fait généralement par les biofilms ce qui peut causer aussi des problèmes techniques comme le blocage mécanique des tuyauteries, un abaissement du transfert de chaleur et aussi une corrosion du métal qui résulte une réduction de la durée de vie des matériaux et la conservation du produit (Manvi Sharma, 2002).

Cependant, plusieurs études ont indiqué la présence des biofilms dans le secteur de l'industrie laitier en Algérie (Cherif-Antar et al., 2015). Et d'autres études ont montrés qu'il existe une relation entre la présence de biofilm et la contamination par des spores. En outre, une résistance de biofilm contre le nettoyage sur place dans l'industrie laitiers (Ievgeniia Ostrov et al., 2019).

En effet, dans l'industrie de production de poudres laitières, ces bactéries se retrouvent dans un environnement où les nutriments et les facteurs environnementaux (température, pH et activité de l'eau) sont favorables à leur croissance. En particulier, certaines étapes de pré-chauffage et de concentration présentent des conditions de température et d'activité de l'eau pouvant favoriser une croissance différentielle de certaines espèces thermophiles, entraînant une sélection entre elles.

Lors de leur croissance, ces bactéries sporulées peuvent produire des biofilms, formant des niches écologiques et des environnements spécifiques favorables à la production de spores bactérienne. Le détachement de fractions de biofilms favorise la diffusion des spores dans tous les équipements et contaminent les produits finis. Les biofilms permettent également aux spores bactériennes de mieux résister aux traitements de nettoyage et de persister dans les équipements industriels.

I. 2. 4. Toxines émétique et diarrhéique

I. 2. 4. 1. Toxines Diarrhéique

Les chercheurs sont désormais très intéressés par le groupe *B. cereus sensu lato* (s.l.), car ses membres de groupes sont à la fois responsables de la détérioration des produits laitiers et aussi à des maladies d'origine alimentaires. Le groupe *B. cereus* responsable de produire des entérotoxines différentes, en effet au moins cinq entérotoxines sont été identifié : 1) l'hémolysine BL (HBL), 2) l'entérotoxine non hémolytique (Nhe), 3) la cytotoxine K (CytK), 4) l'entérotoxine T (BceT), 5) l'entérotoxine FM (EntFM) (Asano et al., 1997 ; Agata et al., 1995 ; Hwang et Park, 2010 ; Zhang et al., 2015).

Après la germination des spores, *B. cereus* peut produire des entérotoxines, qui provoquent des maladies diarrhéiques dans le tractus intestinal. Les entérotoxines thermolabiles produites par les cellules végétatives dans l'intestin grêle provoquent l'intoxication.

Parmi les entérotoxines tel que les HBL, Nhe et CytK qui sont les agents causant les symptômes diarrhéiques à *B. cereus*, plus que d'autre entérotoxines tel que BceT et EntFM sont moins toxiques et ne sont généralement pas impliquées. Les entérotoxines HBL et Nhe sont des protéines à plusieurs composants et chimiquement apparentées, tandis que l'entérotoxine CytK est une protéine unique. Il est également considéré comme le principal facteur de virulence dans la diarrhée à *B. cereus* (GRANUM, 2007).

I. 2. 4. 2. Toxine émétique (céréulide)

L'industrie alimentaire surtout l'industrie fait face à plusieurs défis à cause de cette puissante toxine de type céréulide produite par *B. cereus* par leur forte résistance contre la chaleur et les acides.

La présence de céréulide ou des souches de *B. cereus* de type émétique dans les aliments constitue un grave danger pour la sécurité des consommateurs. Le céréulide est un thermostable, un résistant protéolytique et préformé est toujours actif et peut provoquer une intoxication même après le traitement thermique dans la transformation des aliments (Yuan liu, 2016).

Les symptômes émétiques sont causés par l'ingestion de toxine céréulide préformée dans les aliments avant ingestion. Généralement, une grande population de cellules de *B. cereus* (10^5 - 10^8 /g d'aliment) est nécessaire pour produire une quantité suffisante de toxine dans l'aliment pour l'apparition de la maladie émétique, Les symptômes le plus souvent connu sont des nausées et des vomissements, parfois suivis de douleurs abdominales ou de diarrhée. La durée de la maladie est généralement de 6 à 24 h (Granum, 2007). Le symptôme de type émétique survient 1 à 6 h après la consommation de l'aliment contaminé par des toxines secrété par *B. cereus* (Mortimer et McCann 1974).

I. 2. 5. Croissance de *B. cereus* dans différentes conditions

Les taux de croissance de différentes souches de *B. cereus* sensu lato ont été étudiés à diverses conditions de température, pH et aw. Les paramètres cardinaux ont été déterminés pour chaque souche, montrant des adaptations différentes aux conditions environnementales. Certains groupes de souches étaient plus tolérants à la chaleur et au NaCl, tandis que d'autres étaient plus sensibles. Des différences phénotypiques ont été observées entre les groupes psychrotrophes.

- Les souches psychrotrophes peuvent se développer à des températures plus basses, et donc avoir des taux de croissance optimaux (μ_{opt}) plus faibles.
- Les souches mésophiles poussent mieux à des températures modérées, que l'on trouve généralement dans la plupart des environnements humains.

- Les souches thermophiles ont un taux de croissance optimal à des températures plus élevées.

I. 2.6. Perte économique liées aux bactéries sporulées et pathogènes

Les bactéries sporulées, en particulier *B. cereus*, posent un problème important à l'industrie laitière en raison de leur résistance aux traitements thermiques, et de leur capacité à altérer les produits laitiers.

a. Altération des produits laitiers

En effet, *B. cereus* est une bactérie sporulée capable de survivre aux procédés de pasteurisation et de se développer dans les produits laitiers réfrigérés. Elle entraîne une altération organoleptique (goût, odeur, texture) et technologique (coagulation, acidification) des produits qui deviennent impropres à la consommation et entraînent des pertes directes au niveau des producteurs et des transformateurs laitiers.

b. Rejets de lots contaminés

La présence de *B. cereus* dans les produits laitiers dépasse très souvent les seuils réglementaires (ex. 500 UFC/g pour les préparations infantiles) obligeant ainsi les industriels à rejeter des lots entiers et générant d'importantes pertes financières. Ainsi en 2019, dans l'UE, *B. cereus* est la bactérie responsable de 155 foyers d'intoxication alimentaire rendant nécessaire de rappels des produits coûteux.

c. Coûts associés aux intoxications alimentaires

B. cereus est responsable de deux types de maladies d'origine alimentaire, le syndrome émétique (le vomissement) et le syndrome diarrhéique. Ces intoxications alimentaires engendrent des coûts médicaux, mais aussi des pertes de productivité et des litiges juridiques. En 2019, *B. cereus* est donc responsable de 44 hospitalisations et de 7 décès au sein de l'UE si bien qu'elles nécessitent d'être prises en compte pour leur impact sanitaire et économique.

d. Perturbation des chaînes de production

La contamination par *B. cereus* nécessite des arrêts de production pour le nettoyage et la désinfection des équipements. Les spores de *B. cereus* peuvent former des biofilms résistants, rendant leur élimination difficile et augmentant les coûts de maintenance (le nettoyage et la désinfection).

e. Impact sur la réputation des marques

Les rappels de produits et les intoxications alimentaires liés à *B. cereus* nuisent à la réputation des entreprises laitières. Cela peut entraîner une perte de confiance des consommateurs et une baisse des ventes, affectant durablement la rentabilité.

f. Coûts de prévention et de contrôle

Les industriels doivent investir dans des technologies de détection (ex. la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse pour la toxine céréulide) et dans des méthodes de contrôle strictes (respect de la chaîne du froid, nettoyage approfondi des équipements). Ces mesures, bien que nécessaires, augmentent les coûts opérationnels

g. Pertes liées à la durée de conservation réduite

La présence de *B. cereus* dans les produits laitiers limite leur durée de conservation, obligeant les producteurs à réduire les délais de vente ou à retirer prématurément les produits des étagères, ce qui génère des pertes supplémentaires

I. 2. 7. Thermorésistante des spores de *B. cereus*

La thermorésistance de *B. cereus* fait référence à sa capacité à survivre à des températures élevées. En tant que bactérie à Gram positif, *B. cereus* est capable de former des spores qui lui permettent de résister à des conditions environnementales extrêmes, y compris des températures élevées. Ces spores sont résistantes à la chaleur et peuvent survivre à des températures de cuisson normalisées. Cette thermorésistance est importante car elle peut poser un risque pour la sécurité alimentaire, en particulier dans les aliments mal manipulés ou mal conservés. Il est essentiel de suivre des pratiques adéquates en matière de manipulation et de stockage des aliments pour prévenir la contamination par *B. cereus* et d'autres agents pathogènes alimentaires.

Les spores de *B. cereus* possèdent une thermorésistance élevée en raison de leur structure et de leurs compositions spécifiques. Les spores sont une forme de survie qu'utilise la bactérie lorsque les conditions environnementales sont défavorables, comme des températures élevées. Les spores de *B. cereus* sont thermorésistantes :

Les spores sont thermorésistantes et sont donc d'une grande importance pour l'industrie alimentaire ; en particulier le secteur de conserverie. La résistance à la chaleur des spores a été attribuée à son architecture unique et sa composition. En particulier, la déshydratation relative du noyau de spores en raison de sa haute teneur et de l'acide dipicolinique (DPA) a été identifié comme étant le facteur le plus important de résistance à la chaleur (Moir et al., 2002 ; Margosch et al.,

2004).

La thermorésistance de la spore bactérienne est influencée par divers facteurs environnementaux qui peuvent exercer leur influence avant, pendant et après le traitement thermique proprement dit (**Scheldeman et al., 2004**).

Avant le traitement thermique, la thermorésistance peut être affectée par les conditions de sporulation et de l'état physiologique général. En outre, **González al. (1999)** ont constaté que de grandes différences de thermorésistance peuvent aussi se produire entre les spores de la même espèce. Des différences ont également été signalés entre les souches de *B. cereus* responsable du syndrome émétique d'une part et les souches responsable du syndrome diarrhéique d'une autre part (**Carlin et al., 2006**).

Les spores de souches productrices de toxines émétiques ont montré, en moyenne, une plus grande résistance à la chaleur à 90 °C que les spores des autres souches. Toutes les conditions de préchauffage, en particulier la température à laquelle la sporulation a eu lieu influencent fortement la résistance à la chaleur des spores résultantes (**Scheldeman et al., 2004**). Autrement dit, que plus la température de sporulation est élevée plus la thermorésistance est importante (**González et al., 1999 ; Rajkovic et al., 2008**).

La composition du milieu de sporulation est également un facteur qui joue un rôle important sur la résistance à la chaleur des spores. L'augmentation de la résistance à la chaleur observée en corrélation avec une diminution de la teneur en eau des protoplastes de spores.

Pendant le chauffage, l'utilisation supplémentaire des pressions élevées (600 - 800 MPa) a été observée pour aboutir à un niveau élevé de l'inactivation de plusieurs espèces de *Bacillus*, y compris *B. cereus* (**Margosch al., 2004; Scurrah et al., 2006**). La nature du moyen ou de la nourriture dans laquelle le chauffage est exécuté aussi bien que les conditions de récupération après le chauffage auront tous un effet sur la résistance à la chaleur observée (**Scheldeman et al., 2004**). Après le chauffage, le milieu de récupération de spores traitées thermiquement a une influence sur la valeur de D observé et par conséquent sur la thermorésistance.

I. 2. 8. Phylogénétique de *B. cereus*

Le groupe *B. cereus sensu lato* (s.l.) suscite actuellement le plus d'intérêt parmi les chercheurs, car les membres de son groupe sont non seulement responsables de la détérioration des produits laitiers, mais ont également été associés à des épidémies d'origine alimentaire.

Les espèces de *Bacillus* comprennent des organismes psychrophiles à thermophiles, ce qui leur permet de coloniser une variété d'environnements. Ce groupe métaboliquement divers, comme d'autres espèces de *Bacillus*, ce qui leur permet de se développer dans diverses conditions environnementales. Actuellement, plusieurs espèces étroitement apparentées font partie de ce

groupe phylogénétiquement distinct. Les espèces comprennent : *B. anthracis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. mycoides*, *B. pseudomycoides*, *B. weihenstephanensis*, *B. cytotoxicus* (Guinebretière et al. 2013) et d'autres espèces ex. *B. toyonensis* récemment découvert.

I. 2. 9. Paramètres cardinaux des souches de *Bacillus cereus*

Les études menées sur les souches représentant les sept groupes phylogénétiques principaux de *B. cereus sensu lato* (Guinebretière et al., 2008) ont permis d'évaluer leur croissance en fonction de divers facteurs environnementaux, notamment la température (allant de 7 °C à 55 °C), le pH (entre 4,6 et 7,5) et l'activité de l'eau (a_w variant de 0,929 à 0,996 avec une concentration de 0,5 % de NaCl). Pour modéliser les taux de croissance, une régression non linéaire a été utilisée afin de déterminer des paramètres cardinaux tels que T_{min} , T_{opt} , T_{max} , pH_{min} , pH_{opt} , a_{wmin} et μ_{opt} .

Les résultats ont montré que les paramètres cardinaux reflétaient les variations d'adaptation à la température parmi les groupes phylogénétiques I à VII de *B. cereus*. La capacité d'une souche à se développer à des pH bas (jusqu'à 4,3) ou à faibles niveaux d'activité de l'eau était inégale. Les souches issues des groupes III et VII, qui présentent la meilleure tolérance à la chaleur, démontraient également une adaptation remarquable à des concentrations élevées de NaCl, toutes les souches de ces groupes étant capables de croître à 8 % de NaCl. En revanche, celles des groupes I et VI se montraient moins adaptées, puisqu'aucune ne parvenait à croître à 7 % de NaCl. Les souches des groupes II et VII étaient toutes capables de croître à un pH de 4,6, tandis que celles du groupe VI étaient très rares (Carlin et al., 2013).

Certaines espèces de ce groupe semblent non pathogènes :

- *B. thuringiensis* est un insecte pathogène bien connu utilisé comme agent de lutte biologique.
- *B. weihenstephanensis*, *B. pseudomycoides*, *B. mycoides* n'ont pas été décrits comme agents d'intoxication alimentaire.

Deux critères 1) Par leur réponse à la température cardinal T_{min} et T_{max} quel regroupe les souches psychotropes, mésophiles et thermophiles et 2). Leur capacité à provoquer une intoxication alimentaire émétique et diarrhéique (Burgess et al. 2010).

Tableau 2: Caractéristiques des souches *B. cereus* étudiés par Guinebertière et al. (2010).

Groupes Espèces	Espèces	Association des infections alimentaires	à toxi- Températures (°C) de croissance
I	<i>B. pseudomycoïdes</i>	Non	10-40
II	<i>B. cereus</i> II, <i>B. thuringiensis</i> II	Oui	7-40
III	Souches émétiques <i>B. cereus</i> III, <i>B. thuringiensis</i> III <i>B. anthracis</i>	Oui	15-45
IV	<i>B. cereus</i> IV, <i>B. thuringiensis</i> IV	Oui	10-45
V	<i>B. cereus</i> V, <i>B. thuringiensis</i> V	Oui	8-40
VI	<i>B. weihenstephanensis</i> <i>B. mycoïdes</i> <i>B. thuringiensis</i> VI	Non	5-37
VII	<i>B. cytotoxicus</i>	Oui	20-50

CHAPITRE III

GENERALITE SUR LA MICROBIOLOGIE PREVISIONNELLE.

I. 3. 1. Contexte et importance de la microbiologie prédictive en sécurité alimentaire

L'utilisation de la microbiologie prévisionnelle nous permet de prévoir la croissance, l'inactivation ou la survie des microorganismes à l'aide des modèles mathématiques l'impact de différents facteurs environnementaux comme la température, le pH, l'activité de l'eau...etc.

Les durées de vie microbiologiques peuvent être déterminées et validées en utilisant la microbiologie prévisionnelle, qui repose sur des simulations de l'évolution des micro-organismes limitants dans l'aliment étudié **(Dalgaard 1995)**.

Elle offre aussi la possibilité d'améliorer la formulation des recettes en tenant compte des risques bactériens et d'ajuster le processus de fabrication pour un aliment spécifique, tout en diminuant le nombre d'essais nécessaires pour obtenir le produit courant. La microbiologie prévisionnelle, en complément d'autres outils tels que le test de croissance, permet d'appliquer les résultats obtenus en laboratoire à des situations réelles de conservation de l'aliment **(Koutsoumanis 2001)**.

La microbiologie prévisionnelle peut être utilisée à diverses étapes du processus dans la démarche HACCP. Par exemple, lorsqu'on évalue les limites de tolérance à appliquer aux points critiques, la modélisation permet d'évaluer ces limites en intégrant une contamination prévue à la fin de la durée de vie pour chaque niveau. La microbiologie prévisionnelle permet aussi d'anticiper les mesures correctives à prendre en cas de défaillance, comme une modification du traitement thermique par exemple. Enfin, étant donné que la microbiologie prévisionnelle est reconnue par les autorités de contrôle, il est tout à fait envisageable d'utiliser les résultats de simulations comme preuves pour justifier à un inspecteur la sécurité du produit **(Thuault et Couvert 2009)**.

Les modèles de microbiologie prévisionnelle sont basés sur les lois de la physique, de la chimie et de la biologie. Ils prennent en compte les facteurs environnementaux qui influencent la croissance, la survie et la mort des micro-organismes, tels que la température, l'humidité, l'acidité, l'oxygène et la présence de nutriments.

I. 3. 2. Applications de la microbiologie prévisionnelle

I. 3. 2.1. Applications de la microbiologie prévisionnelle dans les domaines industrielle

L'utilisation de la microbiologie prévisionnelle dans l'industrie agroalimentaire est généralisée pour plusieurs aliments tels que les charcuteries (Drosinos et al. 2006), les poissons (Koutsoumanis 2001 ; Ross et al. 2000), la volaille (Dominguez and Schaffner 2007), la viande de porc (Liu et al. 2006) et les applications industrielles sont aujourd'hui nombreuses.

Les modèles de microbiologie prévisionnelle peuvent être utilisés pour prédire la durée de conservation des aliments, la croissance de bactéries pathogènes dans les aliments, l'efficacité des traitements thermiques et l'efficacité des antibiotiques. Ils peuvent également être utilisés pour

développer de nouvelles méthodes de production alimentaire, de biotechnologie et de santé publique.

La microbiologie prévisionnelle est un outil puissant qui peut être utilisé pour améliorer la sécurité alimentaire, la qualité des aliments, l'efficacité des traitements thérapeutiques et la protection de l'environnement.

I. 3. 2.2. Utilisation de la microbiologie prévisionnelle

- Prédiction de la durée de conservation des aliments pendant laquelle un aliment peut être conservé sans que les micro-organismes pathogènes ne se développent. Cette information peut être utilisée pour améliorer la sécurité alimentaire en veillant à ce que les aliments soient consommés avant qu'ils ne soient périmés.
- Prédiction de la croissance de bactéries pathogènes dans les aliments, Cette information peut être utilisée pour développer des méthodes de prévention de la contamination des aliments par des bactéries pathogènes.
- Prédiction de l'efficacité des traitements thermique pour tuer les micro-organismes. Cette information peut être utilisée pour développer des méthodes de traitement thermique plus efficaces pour tuer les micro-organismes dans les aliments.
- Le développement de nouvelles méthodes de production alimentaire plus sûres et plus efficaces. Par exemple, les modèles de microbiologie prévisionnelle peuvent être utilisés pour développer de nouvelles méthodes de fermentation alimentaire, de séchage alimentaire et de conservation alimentaire.
- Développement de nouvelles méthodes de biotechnologie, telles que la production d'enzymes, d'antibiotiques et de vaccins.
- Les modèles de microbiologie prévisionnelle peuvent être utilisés pour protéger l'environnement en veillant à ce que les micro-organismes ne causent pas de dommages à l'environnement. Par exemple, les modèles de microbiologie prévisionnelle peuvent être utilisés pour prédire la croissance de micro-organismes dans les eaux usées et pour développer des méthodes de traitement des eaux usées plus efficaces.
- La microbiologie prévisionnelle est un outil puissant qui peut être utilisé pour améliorer la sécurité alimentaire, la qualité des aliments, l'efficacité des traitements thérapeutiques et la protection de l'environnement.
- Les modèles spécifiques ont ainsi été développés pour prévoir d'une part la croissance microbienne, et d'autre part la décroissance ou l'inactivation et ce pour les germes pathogènes ou pour les germes d'altération.

I. 3. 2. 3. La microbiologie prévisionnelle se base sur trois familles des modèles

Les modèles primaires

Ce sont des modèles mathématiques qui permet l'évolution du nombre de micro-organismes en fonction du temps en décrivent les cinétiques de croissance ou de survie d'une population microbienne permettent d'estimer les paramètres de croissance ou de survie taux spécifique de croissance maximum ($\mu_{\max}$ phase de latence, temps de réduction décimale D) en citant le modèle de **Baranyi et al.,(1994)** et le modèle logistique avec délai et rupture proposé par Rosso (**Rosso et al. 1995**).

Les modèles secondaires

Repose sur l'influence des facteurs environnementaux (T, pH, a_w ou NaCl, ...) sur les paramètres de croissance ou de survie D, $\mu_{\max}$, λ phase de latence. On trouve le modèle racine carrée représenter par **Ratkowsky et al., 1982** augmentation linéaire de $\mu_{\max}$ avec la température et le modèle des T cardinales représenté par **Rosso et al., 1993**.

Les modèles tertiaires

Il s'agit d'applications d'un ou plusieurs modèles secondaires pour générer des systèmes permettant de fournir des prévisions à des non-modélisateurs, c'est-à-dire des logiciels conviviaux ou d'application (Buchanan, 1991 ; Buchanan, 1993) et des systèmes experts (Adair et al., 1993). Ce niveau inclurait des algorithmes permettant de calculer l'évolution des conditions (par exemple, la température transitoire après 5 jours de stockage) sur la croissance et la survie des micro-organismes, de comparer le comportement microbien dans différentes conditions (deux niveaux de sel) ou de représenter graphiquement la croissance de plusieurs micro-organismes simultanément (Buchanan, 1991).

I. 3. 3. Logiciels utilisés dans la microbiologie quantitative prévisionnelle

Dans le domaine de la microbiologie quantitative prévisionnelle, plusieurs logiciels sont essentiels pour prédire le comportement des microorganismes et garantir la sécurité alimentaire

Les modèles stochastiques sont généralement complexes et difficiles à résoudre analytiquement. Pour corriger ce problème, ce modèle peut être estimé sur un ordinateur, à l'aide d'une simulation de Monte Carlo (MC), qui consiste en un échantillonnage aléatoire répété à partir des distributions qui caractérisent les variables d'entrée d'un modèle de simulation ; ces réalisations d'entrée sont utilisées pour évaluer le modèle, ce qui donne lieu à des distributions de la ou des variables de sortie.

Il existe plusieurs logiciels spécialisés qui permettent de gérer cette approche et qui sont traités dans différents textes. Surtout les modules complémentaires de logiciel de Microsoft (Excel) sont fréquemment utilisés, comme @RISK© et Crystals Ball©. Le logiciel autonome Analytica® a également été utilisé par les évaluateurs des risques microbiens. Il est également possible d'utiliser d'autres logiciels mathématiques (Matlab) ou statistiques (SAS, R) pour la modélisation de simulation, notamment différents modules complémentaires gratuits, comme le package mc2d, pour aider à distinguer la variabilité de l'incertitude. Il est également possible de créer des modèles en utilisant des langages de programmation courants tels que FORTRAN, Python, Visual BASIC ou C.

FAO. Et WHO. 2021

La simulation MC est une méthode plus efficace pour réaliser une analyse quantitative des risques, où les entrées incertaines d'un modèle sont représentées à l'aide de différentes plages de valeurs appelées distributions de probabilité. Lors d'une simulation MC, on échantillonne les valeurs de manière aléatoire à partir des distributions de probabilité d'entrée. On nomme chaque groupe d'échantillons une itération, et le résultat obtenu à partir de cette itération est consigné. Les centaines ou les milliers de fois que la simulation MC effectue cette opération, le résultat est une distribution de probabilité des résultats potentiels **Khalfi et al.,2009**.

L'analyse Monte Carlo de @RISK permet de calculer et de représenter différentes hypothèses futures qui pourraient se produire dans les modèles de risque, en indiquant la probabilité de chaque scénario. Ainsi, @RISK offre un potentiel considérable en présentant tous les résultats envisageables pour toutes les situations. On utilise une relation mathématique afin de déterminer l'état du système et les indices requis en se basant sur les valeurs générées pour les paramètres importants. On répète ce processus à plusieurs reprises et on enregistre les états du système. Finalement, il est possible de créer un histogramme probabilité/fréquence (**Goerdin, 2014**).

Son approche probabiliste en réalité un outil très efficace pour des milliers d'entreprises et organisations dans le monde entier.

- Les banques l'utilisent pour estimer le risque de crédit,
- Les compagnies d'assurance pour déterminer la prime appropriée,
- Les fabricants pour optimiser leur production selon le niveau de stock souhaité, et
- Les entreprises de transport pour gérer leur habileté, et ainsi minimiser les retards ou gagner sur les concurrents.

De cette façon, @RISK montre pratiquement tous les résultats possibles pour n'importe quelle situation. Cette approche probabiliste fait de @RISK un outil puissant qui est utilisé pour déterminer les risques à prendre et ceux à éviter, un aperçu essentiel dans le monde incertain d'aujourd'hui.

Nombre d'essais : L'exécution de 1 000 essais signifie que 1 000 itérations différentes de résultats basées sur les hypothèses d'entrée seront générées. L'entrée est des nombres entiers positifs. Le nombre d'exécutions par défaut est de 1 000 essais.

I. 3. 4. Les distributions de probabilité dans la simulation de Monte Carlo

La simulation de Monte Carlo est une méthode consiste à modéliser et analyser des systèmes complexes sous l'influence d'une incertitude. L'un des aspects fondamentaux de cette méthode repose sur l'utilisation de distributions de probabilité pour représenter les variables aléatoires et attribuer des probabilités différentes à différents résultats. Ainsi, ces distributions permettent d'offrir une description plus fidèle l'incertitude dans une analyse de risque.

Distributions de probabilité couramment utilisées

Dans cette étude, les distributions de probabilité les plus couramment rencontrées dans les simulations de Monte Carlo sont généralement :

I. 3. 4. 1. Distribution normale (courbe en cloche).

La distribution normale, ou courbe en cloche, représente l'une des principales distributions des statistiques. Elle se caractérise par sa symétrie, ainsi que par le fait que la probabilité est concentrée autour de la moyenne.

Les deux paramètres qui caractérisent la distribution normale sont sa moyenne (μ), qui représente la valeur centrale de la distribution, et l'écart-type (σ), qui quantifie la dispersion des données autour de la moyenne.

La distribution normale est souvent employée afin de modéliser des phénomènes naturels tels que la taille des individus, leur poids, ainsi que les erreurs de mesure.

I. 3. 4. 2. Distribution Uniform

La distribution uniforme est la distribution de probabilité la plus simple. L'ensemble des valeurs a une probabilité égale d'advenir.

Les deux paramètres gouvernant la distribution uniforme sont : la valeur minimale (a) et la valeur maximale (b).

La distribution uniforme est très souvent utilisée lorsqu'on ne dispose d'aucune information sur la distribution des données, ou bien lorsque l'on souhaite simuler un processus aléatoire très simple.

I. 3. 4. 3. Distribution triangulaire

La distribution triangulaire est une distribution à trois paramètres qui permet de modéliser des situations où l'on connaît les valeurs minimale, maximale et la valeur la plus probable.

La distribution triangulaire est définie par trois paramètres : la valeur minimale (a), la valeur la plus probable (b) et la valeur maximale (c).

La distribution triangulaire est souvent utilisée dans les analyses de risque pour modéliser des variables dont on connaît les valeurs extrêmes et une estimation de la valeur la plus probable.

I. 3. 4. 4. Distribution PERT

La distribution PERT est une distribution à trois paramètres similaires à la distribution triangulaire, mais qui, elle, accorde un poids plus important aux valeurs autour de la valeur la plus probable.

La distribution PERT est définie par trois paramètres : la valeur minimale (a), la valeur la plus probable (b) et la valeur maximale (c).

La distribution PERT est souvent utilisée dans la gestion de projet pour modéliser la durée des tâches, en attribuant une évaluation aux incertitudes et aux risques possibles.

I. 3. 4. 5. Autres distributions de probabilité

Il en existe de multiples autres comme distributions de probabilité à l'usage de la simulation de Monte Carlo, au choix en fonction des spécificités des variables aléatoires à modéliser. Une liste plus complète se trouve sur le site de Palisade : https://help.palisade.com/v8_6/en/@RISK/Function/Distribution-Functions.htm

Il est important qu'un choix approprié de la distribution de probabilité soit fait pour obtenir des résultats précis et fiables en simulation de Monte Carlo. On doit bien connaître les caractéristiques de chaque distribution dans son utilisation et les adapter aux spécificités des variables aléatoires à modéliser.

I. 3. 5. Le modèle stochastique

Le modèle stochastique développé pour prédire le taux de croissance de *B. cereus sensu lato* en fonction de la température prend en compte la variabilité entre ces souches en incluant les distributions des températures cardinales (Tmin, Topt et Tmax). Le modèle a affiné la caractérisation de cette variabilité, en intégrant une relation entre la température minimale de croissance (Tmin) et la température de croissance minimale expérimentale, permettant des prévisions de croissance plus précises proches des limites de température de croissance.

La température influence non seulement le taux de croissance spécifique maximum ($\mu_{\max}$) des bactéries, mais affecte également la probabilité de survie et de multiplication, ainsi que le potentiel de production de toxines. Ce modèle vise à fournir des prévisions de croissance plus précises qui sont cruciales pour la sécurité alimentaire et les évaluations quantitatives des risques microbiens (Une approche stochastique pour modéliser les effets de la température sur le taux de croissance de *Bacillus cereu sensu lato*).

En microbiologie prédictive, l'objectif est de prédire l'évolution microbiologique des produits final et notamment de prédire la croissance d'agents pathogènes. La prévision de la croissance microbienne nécessite une base de données contenant une grande quantité d'informations sur les effets de la composition et de la transformation des produits sur la survie, la croissance et la mort des agents pathogènes.

La base de données contient des données sur les effets de paramètres tels que le pH, l' A_w et les niveaux de sel et de nitrite sur le comportement des agents pathogènes. Sur la base de ces données et des informations sur la composition de l'aliment lui-même, la croissance prévue des bactéries peut être calculée. Les paramètres couramment pris en compte dans le modèle mathématique sont la température de stockage des aliments, le pH, l' A_w et les niveaux de sel et de nitrite. Certains paramètres ne peuvent pas être pris en compte dans les modèles mathématiques, et, en général, un maximum de quatre facteurs peuvent être pris en compte à la fois dans la plupart des modèles. La microbiologie prédictive a donc ses limites (**Feiner 2006**).

La prévision de la croissance microbienne nécessite une base de données contenant une grande quantité d'informations sur les effets de la composition et de la transformation des produits sur la survie, la croissance et la mort des agents pathogènes. La base de données contient des données sur les effets de paramètres tels que le pH, l' A_w et les niveaux de sel et de nitrite sur le comportement des agents pathogènes. Sur la base de ces données et des informations sur la composition de l'aliment lui-même, la croissance prévue des bactéries peut être calculée. Les paramètres couramment pris en compte dans le modèle mathématique sont la température de stockage des aliments, le pH, l' a_w et les niveaux de sel et de nitrite.

Certains paramètres ne peuvent pas être pris en compte dans les modèles mathématiques, et, en général, un maximum de quatre facteurs peuvent être pris en compte à la fois dans la plupart des modèles. La microbiologie prédictive a donc ses limites (**Feiner, 2006**).

Les modèles prédictifs caractérisent souvent la croissance de diverses souches au sein d'une espèce en déterminant d'abord des paramètres de croissance tels que les températures cardinales et les taux de croissance optimaux, influencés par des facteurs tels que la température, le pH et l'activité de l'eau, généralement dans des environnements de laboratoire contrôlés. Pour refléter la variabilité naturelle entre les souches, ces modèles incluent des paramètres spécifiques à la souche

de manière probabiliste. En utilisant des simulations de Monte Carlo, ces paramètres sont utilisés pour créer un modèle stochastique qui produit des distributions des taux de croissance spécifiques maximaux (μ_{max}) pour l'espèce, qui peuvent varier considérablement selon les souches individuelles (Une approche stochastique pour modéliser les effets de la température sur le taux de croissance de *B. cereus sensu lato*).

Le modèle stochastique développé pour prédire le taux de croissance de *B. cereus sensu lato* en fonction de la température prend en compte la variabilité entre ces souches en incluant les distributions des températures cardinales (T_{min} , T_{opt} et T_{max}). Le modèle a affiné la caractérisation de cette variabilité, en intégrant une relation entre la température minimale de croissance (T_{min}) et la température de croissance minimale expérimentale, permettant des prévisions de croissance plus précises proches des limites de température de croissance.

La température influence non seulement le taux de croissance spécifique maximum (μ_{max}) des bactéries, mais affecte également la probabilité de survie et de multiplication, ainsi que le potentiel de production de toxines. Ce modèle vise à fournir des prévisions de croissance plus précises qui sont cruciales pour la sécurité alimentaire et les évaluations quantitatives des risques microbiens (Une approche stochastique pour modéliser les effets de la température sur le taux de croissance de *B. cereus sensu lato*).

Les modèles prédictifs caractérisent souvent la croissance de diverses souches au sein d'une espèce en déterminant d'abord des paramètres de croissance tels que les températures cardinales et les taux de croissance optimaux, influencés par des facteurs tels que la température, le pH et l'activité de l'eau, généralement dans des environnements de laboratoire contrôlés. Pour refléter la variabilité naturelle entre les souches, ces modèles incluent des paramètres spécifiques à la souche de manière probabiliste. En utilisant des simulations de Monte Carlo, ces paramètres sont utilisés pour créer un modèle stochastique qui produit des distributions des taux de croissance spécifiques maximaux (μ_{max}) pour l'espèce, qui peuvent varier considérablement selon les souches individuelles (Une approche stochastique pour modéliser les effets de la température sur le taux de croissance de *B. cereus sensu lato*).

I. 3. 6. Implémentation du modèle MPRM

Suivant l'approche proposée par Nauta (2001) pour l'évaluation de l'exposition dans le cadre d'une QMRA qui comporte les étapes suivantes :

- 1) Préciser la déclaration d'usage, le danger (microbien) et le produit alimentaire. Identifier les scénarios alternatifs (soit des stratégies d'atténuation des risques, soit des modifications éventuelles du processus) qui doivent être évalués avec le modèle.

- 2) Fournir une description du parcours alimentaire. Les étapes de traitement impliquant d'éventuels scénarios alternatifs requièrent éventuellement une description plus détaillée que les étapes de traitement qui ne subiront aucune variation.
- 3) Construire la structure du modèle du MPRM, en décomposant le parcours alimentaire en petites étapes de transformation (modules). En principe, chaque module est relié à l'un des six processus de base décrits plus bas. Si une étape de traitement est trop complexe ou que des paramètres clés manquent et que l'on ne sait pas comment rattacher cette étape de traitement à ses processus de base, celle-ci sera alors considérée comme procédure de manière « boîte noire ».
- 4) Collecter les données disponibles et les avis d'experts, selon la structure du modèle élaboré.
- 5) Sélectionner le modèle à utiliser pour chaque module, selon le cadre de la déclaration d'intention, la connaissance qu'on a du processus, la disponibilité de données et les scénarios alternatifs, susceptibles d'être envisagés.
- 6) Implémenter dans le modèle les données disponibles pour chacune des étapes de traitement on sélectionne le modèle spécifique à utiliser. Il vaut mieux avoir recours à des modèles mécanistes, mais se limiter à des modèles complexes lorsqu'un compromis possible n'est pas suffisant à évaluer les scénarios alternatifs et lorsque la disponibilité des données le permet.
- 7) Réaliser une évaluation de l'exposition.

Le Modèle de Processus de Risques Microbiologiques (MPRM) délivre un schéma clair pour les modèles de transmission (de micro-organismes) d'origine alimentaire qui peuvent mobiliser la trajectoire « de la ferme à la table ». La voie d'origine alimentaire sera la chaîne de processus qui va du produit brut à la consommation humaine, intégrant à la fois la transformation industrielle du produit, la manipulation par le consommateur et le commerce de détail. En décodant le MPRM, on comprend bien qu'à chaque étape de transformation de la voie d'origine alimentaire est identifié l'un des six processus de base de la chaîne transformationnelle, à savoir : croissance, inactivation, mélange, partitionnement, élimination et contamination croisée.

La transmission des micro-organismes par lot originaires de la voie d'origine alimentaire peut être modélisée par la formulation de modèles de transmission au travers de chacun des processus de base. Si la transmission est trop complexe ou si les paramètres essentiels à la modélisation ne sont pas connus, un modèle dit « boîte noire » peut convenir. C'est là un précieux atout du MPRM qui alimente un cadre élargi, puisque non seulement la structure du MPRM est claire, en identifiant les processus de base mais finalement, la conduite de l'évaluation de l'exposition s'articule autour de sept étapes consécutives, ce qui révèle les hypothèses de

modélisation qui la régissent dans l'état faveur. Ensuite, le MPRM utilise le plus possible des modèles mécanistes. En principe, la construction d'un MPRM

Dans ce rapport, nous préconisons l'usage de modèles modulaires de risques de processus (MPRM) pour modéliser les risques. Or une des propriétés qui caractérise cette approche est la modularité de la structure qui décline la voie alimentaire en étapes de transformations décrivant concurremment l'une des six catégories de processus de base : croissance, inactivation, partitionnement, mélange, élimination, contamination croisée. En théorie, une fois qu'est modélisée la transformation des processus de base, alors il est possible de modéliser n'importe quelle voie alimentaire, à condition qu'elle soit conçue comme une chaîne conséquente de ces processus de base. La description des MPRM comme outil de modélisation de l'évaluation quantitative des risques microbiens fait l'objet de l'exemple d'une évaluation de l'exposition de *B. cereus* dans la purée de brocoli (Nauta, 2001; Nauta, 2002).

***MATERIEL ET METHODES**

II. Matériels et méthodes

La partie pratique de ce travail a été effectuée dans le laboratoire pédagogique de Microbiologie de l'université de Tlemcen. Les échantillons étudiés étaient collectés de différentes industries laitières de la région de Tlemcen.

II.1. Géographique de zone d'étude

Les industries laitières étudiées sont installées dans la wilaya de Tlemcen (Nord-ouest de l'Algérie, entre le 34° et 35° 40' de latitude Nord et le 0° 30' et 2° 30' de longitude Ouest).

Géographiquement, elle est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, au Nord-Est par la Wilaya de Ain Temouchent, à l'Est par la Wilaya de Sidi Bel-Abbes, à l'Ouest par la frontière Algéro-Marocaine et au Sud par la Wilaya de Naâma. La wilaya de Tlemcen occupe une superficie de 9017,69 km², elle comprend 20 daïras subdivisées en 53 communes.

Elle est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride sec et froid avec une température ambiante dépendant des mois et des saisons. La wilaya de Tlemcen a un climat méditerranéen dominant, reposant sur l'opposition entre un hiver océanique où la wilaya est ouverte aux dépressions maritimes et un été désertique qui provoque la remontée et le stationnement d'une chaleur persistante durant toute la saison.

Les données de température ambiante ont été collectées sur le site www.dzmeteo.com. Les données comprennent la température moyenne journalière des médianes de température minimales et maximales de années 2021.

II.2. Caractéristique et description de laiteries sélectionnées transformation du lait

Les trois laiteries sélectionnées (A, B et C) sont des fabricants du lait pasteurisé de vache. Elles sont situées dans la wilaya de Tlemcen. Selon la Direction des Services Agricoles en 2020 (DSA) Wilaya de Tlemcen est connue par une production de lait cru important, avec 17 laiteries alors que le nombre des éleveurs de vaches est de 2562 avec un nombre total de 13600 vaches laitiers.

II.3. Critères de choix des laitiers sélectionnés

Les laiteries étudiées sont sélectionnées pour leur :

- **L'expérience et l'ancienneté dans le secteur du lait pasteurisé** : Les laiteries sélectionnées ont été choisies selon leur expérience et leur ancienneté dans le secteur du lait pasteurisé. Les laiteries sélectionnées sont surnommées aléatoirement A, B et C sont fondé en 1974, 2001 et 2017.

- **Grande préoccupation dans la région :** L'étude se focalise aussi sur les laiteries qui possèdent une part de marché très importante dans la wilaya de Tlemcen, qui se distinguent par une production laitière élevée. Ce critère offre la possibilité d'être les principaux risques majeurs du secteur et leur influence sur la qualité hygiénique et technologique local.

II.4. Description et caractéristique générale des installations des laiteries sélectionnées :

L'ensemble des laiteries étudiés ont les mêmes diagrammes de produits du lait pasteurisé. Les installations des laitières modernes utilisés sont des gammes d'équipements spécialisés pour la réception du lait et la surveillance de la température afin de garantir la qualité et la sécurité du lait depuis le point de réception jusqu'à la transformation.

Réception du lait

La réception du lait cru est réceptionnée à l'arrivée dans des tanks. Les tanks sont reliés par des thermomètres automatiques qui calcule la température dans un instant.

II.4. 1. Stockage avant pasteurisation

La taille et Volume des tanks dépend de la quantité de lait que la laiterie reçoit. Les tanks de stockage et les tuyauteries sont également conçus et construits dans des matériaux facilitant leur nettoyage et désinfection en l'acier inoxydable. Les tanks inclure des systèmes d'agitation pour maintenir le lait homogène et éviter la séparation de la crème. Ils sont équipés des sondes thermiques automatique. Ils permettent d'enregistrer les températures en temps réels.

II. 4. 2. Pasteurisation du lait dans les laiteries

Les paramètres de pasteurisation collectés pour cette étude sont le couple temps et la température. Ces paramètres varient d'une laiterie à l'autre. La pasteurisation au niveau des laiteries A et B se fait respectivement à 80°C/22s et 82°C/25s, tandis que la laiterie C utilise le couple 85°C/25s.

II. 4. 3. Stockage après pasteurisation

Après pasteurisation, le lait est stocké dans des tanks dans les mêmes températures de stockage avant pasteurisation. Cependant, le temps de stockage se diffère en fonction de commercialisation et quantité produite. Les données de stockages sont reportées dans le tableau 5.

II. 4. 4. Distribution du lait

La distribution du lait pasteurisé était effectuée la température ambiante dont le temps varie en fonction de la distance de point de vente et l'industrie. Les temps sont décrits dans le tableau 5.

II. 5. Modular Risk Process Model MRPM

Le Modular Risk Process Model (MRPM) présenté par Nauta (2001) a été suivi. Elle consiste à diviser la chaîne de traitement en étapes selon le critère effet du processus sur le comportement de *B. cereus* (cellules/mL) :

- Module 1 : Ce module représentait la distribution initiale (ufc/mL) de *B. cereus* dans le lait cru réceptionné ;
- Module 2 : correspondant à la croissance de cette bactérie à différentes étapes de stockage et distribution ;
- Module 3 : décrit la survie de *B. cereus sensu lato* durant la pasteurisation.

II. 5. 1. Module 1 : Distribution de *B. cereus sensu lato* dans le lait réceptionné

II. 5. 1. 1. Recherche et dénombrement de *B. cereus sensu lato*

Echantillonnages de lait cru réceptionné

Au total 208 échantillons de lait cru réceptionné de trois industries laitières étudiées étaient prélevés, depuis des tanks de réception du lait. Après avoir procédé à une homogénéisation de 5 minutes du lait dans le tank par l'agitateur, l'échantillonnage du lait a été prélevé au moyen d'une louche inox stérile plongée dans le tank qui ne possède pas de vanne de prélèvement (laiterie B et C), sans toucher les parois, à travers le trou appelé trou d'homme. Le volume de lait prélevé a été rapidement versé dans un flacon stérile préalablement étiqueté et numéroté, tout en prenant soin de ne pas contaminer l'intérieur et le bouchon du flacon. D'autre part les cuves de compagnie A qui sont moderne possédant des vannes de prélèvement ou en verse une quantité du lait cru et après en remplit le flacon.

L'échantillonnage a été effectué à partir de tous les tanks de réception disponibles du lait cru de chacune des trois unités de production avec différents volumes (deux tanks de 10000 litres pour la laiterie A, un tank de 10000 litres pour la laiterie B et 3 tanks de 5000 litres pour la laiterie C), pendant les 5 mois du 1^{er} janvier au 30 mai, 2021. Les échantillons prélevés ont ensuite transporté au laboratoire à 4°C dans une glacière.

Traitement des échantillons lors d'analyse microbiologique

Le protocole de préparation de l'échantillon est conforme à la méthode de l'AFNOR (1995). Les échantillons du lait prélevés ont été traité thermiquement à 80°C pendant 10 minutes. Ce traitement permet d'éliminer les bactéries omniprésentes de formes végétatives. Après traitement thermique, les échantillons étaient dilués dans le milieu TSE.

Recherche et dénombrement de B. cereus sensu lato

Un volume de 0,5 mL de chaque dilution ont été ensemencé sur milieu Mossel complet (Mannitol-Egg Yolk-Polymyxin Agar) (Voir l'annexe 01). Les cultures étaient ensuite incubées à 30 pendant 24h.

Les colonies présumées de *B. cereus* sont grandes, avec des colonies roses (incapable de fermenter le mannitol) et entouré d'un précipité (colonies productrices de lécithinase) et positif à l'hémolyse (halo clair).

Dénombrement des colonies présumées de B. cereus

Le dénombrement de *B. cereus sensu lato* dans les échantillons analysés a été déterminé par la formule classique (Equation 2).

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d} \quad \text{Éq. 2}$$

- N : Nombre de colonies formant unités (CFU) par gramme ou millilitre de produit ;
- $\sum C$: somme des colonies comptées sur toutes les boîtes ;
- n_1 : Nombre de boîtes retenues à la première dilution ;
- n_2 : Nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution ;
- d : taux de dilution de la première dilution.

II. 5. 1. 2. Distribution de la concentration initiale de *B. cereus* dans le lait de vache collecté

Fréquence de contamination ($f_{\text{contamination}}$)

La fréquence de contamination des échantillons analysés par *B. cereus* est calculé à l'aide de l'équation 1.

$$f_{\text{contamination}} (\%) = (cs / ucs) \times 100 \quad \text{Éq. 1}$$

cs : nombre d'échantillons contaminés ;

ucs : Nombre d'échantillons total analysés.

La modélisation de fréquence de contamination était simulée par l'équation 2 décrite par Vose (1998).

$$P_{\text{fréquence}} = \text{RiskBeta}(\alpha, \beta)$$

α : nombre d'échantillons contaminés « cs » + 1 ;

β : nombre d'échantillons non contaminés « ucs » + 1 ;

Distribution de la concentration de B. cereus sensu lato

La distribution de concentration (C_{tank}) de *B. cereus sensu lato* était modélisé par l'équation 3 (Ziane et al., 2019 ; 2022).

$$C_{\text{tank}} = P_{\text{fréquence}} \times \text{RiskDunifom}(N_1 : N_{\text{cs}}) \times \text{RiskUniform}(0; 1) \quad \text{éq. 3}$$

- C_{tank} (CFU/mL) : La distribution de *B. cereus sensu lato* dans le lait de vache cru reçu à chaque réservoir ;
- $P_{\text{fréquence}}$: Fréquence de contamination en *B. cereus sensu lato* ;
- $N_1 : N_{\text{cs}}$ (UFC/mL) : Concentrations de *B. cereus sensu lato* du premier échantillon contaminé avec N_1 (log ufc/mL) au dernier échantillon contaminé N_{cs} .
- $\text{RiskDunifom}(N_1 : N_{\text{cs}})$: Distribution uniforme discrète, qui génère des valeurs entières aléatoires entre N_1 et N_{cs} ;
- $\text{RiskUniform}(0; 1)$: Distribution uniforme de variable continue. En l'absence de données précises sur la proportion de *B. cereus* toxigène, cette distribution suppose que cette proportion peut varier de manière uniforme entre 0 % et 100 %. Cela reflète une incertitude totale sur la fraction de *B. cereus sensu lato* qui est toxigène.

La sortie de cette équation est une estimation de la concentration de *B. cereus* dans les cuves de traitement du lait, exprimée en CFU/mL (unités formant colonie par millilitre). Elle est accompagnée de sa probabilité de survenu associée.

II. 5. 2. Module 2 : Modélisation de la croissance de *B. cereus sensu lato* dans le lait

II. 5. 2. 1. Estimation des paramètres de croissance de *B. cereus sensu lato*

Les paramètres de croissance de *B. cereus sensu lato* dans le lait ont été estimé à l'aide de l'équation de Valik et al. (2018) (4&5).

Les paramètres de croissance (le temps de latence ($\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$) et le taux de croissance ($\mu_{T^{\circ}\text{C}}$)) ont été estimés par pour chaque scénario de température (de stockage à différents tanks et durant la distribution à la température ambiante de l'année 2021 (Tableau ???).

$$\text{Racine}(\mu_{T^{\circ}\text{C}}) = (0.0259 \times (T_{\text{stockage}} - T_{\text{min}}) - 0.1032) \quad \text{Eq. 4}$$

$$\lambda_{T^{\circ}\text{C}} = (-45.667 + 1035.3/T_{\text{stockage}}) \quad \text{Eq. 5}$$

- $\mu_{T^{\circ}\text{C}}$: taux de croissance (h^{-1}) pour la température testée ($^{\circ}\text{C}$);
- $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$: Temps de latence (h) à la température testée ;
- T_{stockage} : Température de stockage en $^{\circ}\text{C}$ pour chaque étape ;
- T_{min} : température minimale cardinale ($^{\circ}\text{C}$) pour la croissance, qui ont été recueillies à partir de la littérature ; T_{min} a été dérivé du modèle sous la forme RiskDuniform (la première T_{min} : soixante deuxième T_{min}). Les 62 valeurs de T_{min} ont été rapportées, comme indiqué dans les travaux de Carlin et al. (2013), Luu-Thi et al. (2014), et Baranyi et al. (2017).

La croissance bactérienne est définie entre T_{min} et T_{max} . Ainsi, aucune croissance théorique ne sera estimée en dors de l'intervalle $]T_{\text{min}}, T_{\text{max}}[$. Cela signifie que la $\mu_{T^{\circ}\text{C}}$ est nulle lorsque la T est $\leq$ ou $\geq$ à T_{min} et T_{max} respectivement. Par conséquent, les $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$ supposées indéfinies dans ces gammes de température. Dans ce cas, la $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$ a été dérivée dans le modèle avec des valeurs élevées n'atteignent jamais, par exemple 9 log (h). Les instructions conditionnelles utilisaient comme :

- pour $\mu_{T^{\circ}\text{C}}$: if($T \leq T_{\text{min}}$; 0 ; (if($T \geq T_{\text{max}}$; 0 ; équation 4)) ;
- pour $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$: if($T \leq T_{\text{min}}$; 9 log ; (if($T \geq T_{\text{max}}$; 9 log ; équation 5) ;

Les valeurs négatives ont été transformées en zéro avec l'instruction conditionnelle e.g. if($\lambda_{T^{\circ}\text{C}} \leq 0$; 0 ; $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$).

Pour la T_{max} 62 valeurs ont été prises en compte entre 37°C et $55,48^{\circ}\text{C}$ rapporté par Carlin et al. (2013); Luu-Thi et al. (2014); Baranyi et al. (2017).

II. 5. 2. 2. Estimation de la concentration de *B. cereus sensu lato* à chaque étape du procédé

La croissance de *B. cereus sensu lato* était simulée durant les étapes de stockage et de distribution du lait par l'équation ???:

$$C_{\text{étape}} = C_{\text{préc.étape}} \exp(\mu_{T^{\circ}\text{C}} \cdot t - \lambda_{T^{\circ}\text{C}}) \quad \text{Éq. 6}$$

$C_{\text{étape}}$: Concentration (log UFC/mL) de *B. cereus* après chaque temps (h) ;

$C_{\text{prév.étape}}$: Concentration (log UFC/mL) de *B. cereus* à l'étape précédente ;

$\mu_{T^{\circ}\text{C}}$: Taux de croissance (h^{-1}) à chaque température testée caractéristique de l'étape étudiée ;

$\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$: Temps de latence (h) à chaque température testée caractéristique de l'étape étudiée ;

t : Temps de stockage à l'étape étudiée. si $t \leq \lambda_{T^{\circ}\text{C}}$ la bactérie ne commence pas sa croissance. Cela signifie que le temps de stockage doit être supérieur à la phase de latence pour que la multiplication bactérienne soit observée.

II. 5. 3. Module 3 : Modélisation de survie de *B. cereus sensu lato* lors de la pasteurisation

II. 5. 3. 1. Estimation de paramètres de thermorésistance

Les paramètres de résistance thermique $D_{T^{\circ}\text{C}}$ (temps nécessaire pour réduire de 90% la population bactérienne à une température donnée) et $z_{T^{\circ}\text{C}}$ (variation de température nécessaire pour changer la valeur de $D_{T^{\circ}\text{C}}$ d'un facteur 10) de *B. cereus sensu lato*. Ces paramètres ont été collectés de la littérature pour un total de 28 valeurs et de 7 valeurs respectivement pour $D_{T^{\circ}\text{C}}$ et $z_{T^{\circ}\text{C}}$.

A partir de ces données collectées, les valeurs de temps de réduction décimale à la température de pasteurisation pour chaque laiterie étaient estimées à l'aide de l'équation 7.

$$\log D_{\text{Pasteurisation}} = \log D_{T_{\text{moyenne}}} - (T_{\text{pasteurisation}} - T_{\text{moyenne}}) / z_T \quad \text{Éq. 7}$$

- T_{moyenne} : Température moyenne ($^{\circ}\text{C}$) des températures testées pour chaque souche étudiée dans la littérature ;
- $D_{T_{\text{moyenne}}}$: Temps de réduction décimale (min) à température moyenne (T_{moyenne});
- $z_{T^{\circ}\text{C}}$: Valeurs collectées de la littérature pour *B. cereus*.

Ensuite, le nombre de réductions décimale était estimé également à partir de l'équation 8 :

$$n_{\text{pasteurisation}} = \left(t_{\text{pasteurisation}} / D_{\text{pasteurisation}} \right) \quad \text{Éq. 8}$$

- $t_{\text{pasteurisation}}$: Temps de pasteurisation (min) pour chaque unité de fabrication ;
- $D_{\text{pasteurisation}}$: Temps de réduction décimale (min) à la température de pasteurisation.

Les valeurs estimées ont été dérivées dans le modèle sous la forme RiskDunifom (D1;D28) avec D1 est la première valeur et D28 est la dernière valeur.

II. 5. 3. 2. Estimation de la concentration de *B. cereus* après pasteurisation

La concentration de *B. cereus* a été estimée à l'aide de l'équation 9, qui intègre des paramètres tels que la concentration de stockage de lait cru dans le tank de stockage et le nombre de décimales de réduction (n).

$$C_{\text{pasteurisation}} = \text{Poisson}(C_{\text{prev.step}} \times 10^{-n_{\text{pasteurisation}}}) \quad \text{Éq. 9}$$

- $C_{\text{pasteurisation}}$: Concentration de *B. cereus* (UFC/10000 mL) après la pasteurisation ;
- $C_{\text{prev.step}}$: Concentration de *B. cereus* (CFU/10000 mL) à l'étape précédente qui est le stockage avant la pasteurisation ;
- $n_{\text{pasteurisation}}$: Nombre de réduction décimale (Equation 8). Les valeurs « n » ont été dérivées dans le modèle sous la forme RiskDunifom (n1 :n28).

II. 6. Simulation de modèle

La simulation de modèle de prédiction de l'évolution de *B. cereus sensu lato* était réalisée à l'aide du logiciel @Risk (v5, Palisade Corporation, NY, USA).

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Prévalence et dénombrement de *B. cereus* dans le lait cru

La contamination de *B. cereus* dans trois laiteries sur une période de 5 mois était étudié. Les résultats de contamination ont montré une hétérogénéité de présence entre les différentes laiteries. Les résultats révèlent que la laiterie C, est le moins contaminé avec une fréquence de contamination de 92%. Cependant, l'unité de production B est le plus contaminé avec un taux de 98%. Par ailleurs, l'unité de production C'est avec une fréquence de contamination intermédiaire avec une fréquence de 95%.

Cette présence confirme la nécessité d'une surveillance continue pour minimiser leur présence, à savoir CIP.

Les résultats de distribution de *B. cereus sensu lato* dans le lait cru avant la pasteurisation est illustré dans le tableau 4. Les résultats de concentration ont été répartie en trois intervalles.

Intervalle] 0 ; 4 [

Les résultats montrent que ces concentrations étaient reportés pour 164/208 échantillons pour les trois unités de production.

En fonction de unités, le nombre des échantillons contaminés dans cette intervalle est de 64 échantillons contaminés soit 63 % à la laiterie A, suivi par la laiterie C avec 51 échantillons contaminés soit 91 %. Pour la laiterie B, montre une contamination inférieure à 4 log dans 49 échantillons qui représente 94 %. L'analyse de variance entre ce pourcentage montre une différence significative entre laiterie A et les autres laiteries, tandis que aucune différence significative entre B et C n'était constatée.

Intervalle [4 ; 5 [

Pour cet intervalle, les résultats ont montré une différence significative entre toujours la laiterie A et les autres, cependant, aucune différence significative n'était constatée entre laiterie B et C. En effet, un total de 18 échantillons présente des concentrations situées dans l'intervalle de 4 à 5 log ufc/mL, soit 16% proviennent de la laiterie A. Quant aux autres laiteries, seulement 2% proviennent de la laiterie B et C qui montre des concentrations en *B. cereus* oscillent entre 4 et 5 log ufc/mL.

Ces échantillons exhibent une concentration modérée de *B. cereus*, augmentant ainsi le risque pour la santé, particulièrement pour les personnes sensibles. Il s'avère donc crucial de mettre en œuvre des corrections pour limiter cette contamination.

Intervalle ≤ 5

Les concentrations en *B. cereus* qui dépasse ou égale à 5 log ufc/mL sont considérées critiques. La laiterie A est concernée par une contamination critique : 11 de ses échantillons présentent des concentrations dangereuses. Cependant, les autres laiteries n'ont aucun échantillon contaminé avec des concentrations critiques.

Tableau 3 : Représente les valeurs de concentration de *B. cereus* dans le lait cru.

Log UFC/ml	Unité A		Unité B		Unité C		Totale
Fréquence de contamination	10	10%	2	4%	4	7%	16
Nombre] 0;4,5 [	64	63%	49	94%	51	91%	164
Nombre [4,5;5 [	16	16%	1	2%	1	2%	18
Nombre ≤ 5	11	11%	0	0	0	0%	11

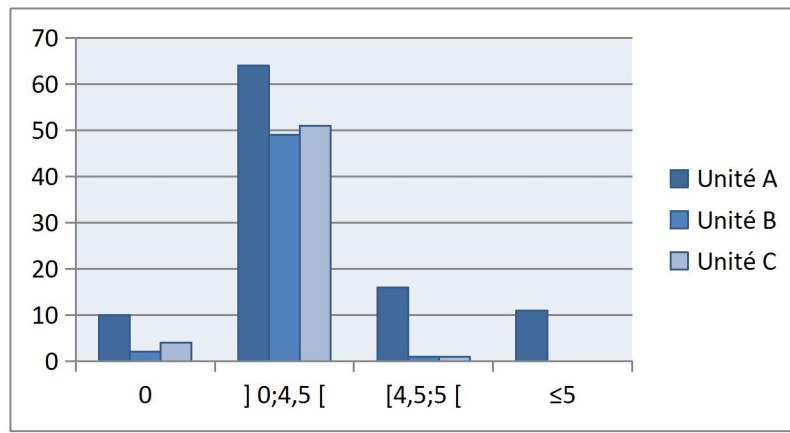


Figure 7: Distribution de *B. cereus* dans les échantillons analysés.

La réception du lait cru est assurée par l'entreprise à température ambiante pour toutes les entreprises et les citerne isothermique ne sont pas réfrigérer thermiquement. Au stade de réception du lait cru (Étape 1), le lait cru est entreposé à température ambiante, ce qui constitue un problème lorsque les températures ambiantes peuvent être très élevées. Les citerne isothermique ne sont pas thermiquement réfrigérées, ce qui peut conduire à ce que les températures augmentent, surtout pendant les mois chauds (juin-juillet-août). Cette étape est

déterminante puisque cette étape que le lait cru peut subir des variations de température ambiante, pouvant affecter sa qualité et sa conservation ultérieure. Cette étape est considérée comme le temps $t=0$

Tableau 4 : Prévalence de *B. cereus* et le nombre des échantillons non contaminé dans 3 laitières.

	Nombre total des échantillons analysées			Prévalence de contamination en % par mois			Les échantillons non contaminé		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Janvier	40	15	10	100%	100%	100%	0	0	0
Février	24	10	23	95,84%	100%	100%	1	0	0
Mars	17	9	8	76,47%	100%	62,5	4	0	3
Avril	10	11	8	80%	90,90%	100%	2	1	0
Mai	9	7	7	100%	85,71%	85,71	0	1	1
Totale	100	52	56						

III. 2. Modélisation de la croissance de *B. cereus* durant le process de fabrication du lait pasteurisé

La chaîne de transformation de lait cru passe par plusieurs étapes de réception à la distribution vers le commerçant. A cet effet, la concentration en *B. cereus* est évolué en fonction de l'effet de l'étape de fabrication. La charge initiale à la réception (H0) est susceptible d'être augmenté durant le stockage (T/t) puis diminue durant la pasteurisation (réductions R). Après la pasteurisation les *B. cereus* survivant peuvent être développé en fonction de température et le temps caractérisés les étapes suivantes.

III. 2. 1. Module 1 : Croissance de *B. cereus*

III. 2. 1. 1. Critère de process de chaque étape

Le tableau 5 reporte l'ensemble de scenario de température utilisé à chaque étape ainsi que le temps de séjour.

Quant au temps de stockage du lait dans les cuves de stockage à différentes étapes (avant la pasteurisation module G1 et après la pasteurisation représentée par le module G2, g3 et g4 et g5) dépend de la quantité reçue de lait cru et transformé en lait pasteurisé selon le mois de l'année. En effet, la quantité de lait reçue est supérieure à la quantité vendue, notamment pour janvier et février. Ce qui entraîne une augmentation de temps de stockage

Le temps de stockage est modélisé par une distribution différente selon chaque étape comme indiqué dans le tableau 5. Quant au temps de stockage du lait dans les cuves de stockage à différentes étapes (avant et/ou après la pasteurisation) dépend de la quantité reçue et produite selon le mois de l'année. En effet, la quantité de lait cru reçue est supérieure à la quantité vendue, notamment pour janvier et février. Quatre modules de croissance de la réception à la distribution en étapes de process ont été déterminés avec les étapes 2, 4, 5 et 6.

III. 2. 1. 2. Réception du lait cru (module H₀)

A la réception du lait cru à l'arrivé de collecteur, le lait cru est stocké dans des cuves de stockage. Dans ce cas, aucun critère de process ne seront prise. La concentration de *B. cereus* n'est pas affectée par les facteurs environnementaux.

III. 2. 1. 3. Stockage du lait cru (Module G₁)

Après la réception, le lait est stocké aux tanks de stockage à la température de réfrigération. Cette température n'est pas stable et parfois supérieure à 4°C surtout pendant les mois chauds. L'ajustement de jeu de données ont montré que les températures collectées suivies les distributions uniform, tandis que les températures varient de 3°C à 10°C pour la laiterie A, entre 4°C et 10 pour la laiterie B et 5°C et 13°C, la moyenne set de 5.41°C, 6.67 et 5.73 °C respectivement pour les laiteries A, B et C.

Selon les données collectées, la durée de séjour du lait cru dans les tanks de stockage est modélisée par la distribution RiskUniform(18;30) et deux distributions RiskPert(0;3;12) pour les laiteries A, B et C respectivement.

Le contrôle rigoureux de temps et la température de séjour du lait cru est une nécessité primordiale à la gestion de croissance de *B. cereus*.

Tableau 5 : Temps (min) et la température (°C) pour chaque étape du traitement du lait jusqu'au point de vente.

3.	Modul es	Les étapes	Laiterie	Temps	Température (°C)							Distribution
					Mean	Min	Mean	Max	5%	95%		
1	H ₀	Réception du lait cru	Tout	0	Température Ambiante **							
2	G ₁	Les tanks du stockage	A	RiskUniform(18; 30)	5.41	3	5	10	3	10	Dunifor m	
			B	RiskPert(0;3;12))	6.67	4.08	6.63	9.91	4.88	9.16		
			C	RiskPert(0;3;12))	5.73	5	5	13	5	13		
3	S	Pasteurisation	A	20	80						Valeur fixe	
			B	20	83							
			C	25	85							
4	G ₂	Les tanks du stockage	A	24h	5.41	3	5	11.5	4	10	Dunifor m	
			B	RiskUniform(1; 12)	Uniform(4;6.5)							
			C	RiskUniform(1; 12)	Uniform(5.5;6.5)							
5	G ₃	Conservation au réfrigérateur	A	24	4						Valeur fixe	
			B	RiskPert(0;12;24)								
			C	RiskUniform(0; 18)								
6	G ₄	Distribution	Tout	RiskPert(0;3;6)	Température ambiante selon le mois						Valeur fixe	

Le niveau de contamination par *B. cereus* dans le lait crus réceptionnés dans les trois laiteries pourra servir d'élément de départ pour modéliser la croissance du nombre de cette bactérie dans le processus de pasteurisation.

III. 2. 1. 4. Paramètres de pasteurisation

La pasteurisation, au cours du traitement de lait, est une étape essentielle, qui permet de diminuer le plus possible la charge microbienne, et notamment celle de *B. cereus*, une bactérie sporulée responsable de problèmes de sécurité alimentaire. Les paramètres de pasteurisation se diffèrent d'une laiterie à une autre. Les laiteries utilisent différents barèmes de pasteurisation : la laiterie A traite le lait à 80°C pendant 20 secondes, la laiterie B à 82°C pendant 25 secondes et la laiterie C à 85°C pendant 20 secondes.

III. 2. 1. 5. Tanks de stockage Module G₂

Après pasteurisation, le lait pasteurisé est à nouveau stocké dans les cuves de stockage en attendant le conditionnement qui est effectué par des conditionneuses. La température de chaque étape de stockage et séjour était précédemment présentée dans le tableau 5. Les températures de stockage collectées ont été ajustées par les distributions Uniform pour la laiterie A par la distribution Uniform (3 °C;10°C)], alors que les laiteries B, et C sont ajustées à la distribution Uniform (4°C;6.5°C) et C (5.5°C;6.5°C)

Quant aux temps de séjour, ils dépendent de la quantité produite et vendue. Le temps de séjour le plus long était reporté pour la laiterie A de 24 heures. Cependant, les laiteries B et C reportaient des temps de séjour représentés par la distribution RiskUniform(1h;12h) heures.

III. 2. 1. 6. Conservation au réfrigérateur Modules G₃

La conservation du lait pasteurisé après le conditionnement dans le magasin frigorifique est primordiale pour garantir sa qualité et sa sécurité au moment de distribution. Le lait pasteurisé doit donc être conservé à une température basse, constante autour de 4 °C.

Le lait pasteurisé est stocké directement dans les frigos à basse température, mais la durée de séjour varie en fonction de la quantité commercialisée destinée au marché selon le mois. La durée de stockage du lait pasteurisé est modélisée RiskPert(0h;12h;24h) pour la laiterie B, dont le temps maximum moins probable est de 24h et le plus probable est de 12h. Tandis que la laiterie C stocke le lait pasteurisé à un temps représenté par la distribution

Uniform(0;18). Par ailleurs le laiterie A, présentait un temps plus long de 24h qui était dérivé dans le modèle par Uniform(0h;24h).

La durée de stockage du lait pasteurisé est tributaire d'un certain nombre de facteurs, notamment la quantité produite et la quantité vendue.

Les variations selon les mois de l'année semblent également prédisposer le lait pasteurisé à rester moins longtemps dans les magasins frigorifiques en période de consommation intense, comme durant le mois sacré de Ramadhan.

La réduction de temps de séjour et de stockage du lait, est fortement liée à la technique de gestion de stock appliquée, dans ce cas la méthode (FIFO : First in First out) est cruciale pour assurer un temps court de stockage.

III. 2. 1. 7. Distribution du lait pasteurisé Modules G₄

Le temps de distribution du lait pasteurisé de toutes les laiteries est représenté par RiskPert(0;3;6) qui comprise entre un temps de départ considéré (0 heure) et maximum de 6 h pour le dernier point de livraison, est la majorité du lait est livré à l'entour de 3h. Cette durée était dépendant de la zone géographique de distribution du lait et de contrainte technique probable durant la livraison.

Ensemble de livreur du lait, livraient le lait à la température ambiante.

III. 2. 1. 8. Estimation des paramètres de thermorésistance de *B. cereus*

Les données de la thermorésistance de *B. cereus*, ont été collectées de la littérature. La distribution des valeurs dérivé dans le modèle étaient ajusté. Le choix de modèle était basé sur le paramètre de thermorésistance (Tableau 6).

Le temps de réduction décimale ($D_{T^{\circ}C}$) de *B. cereus* estimé et sa sensibilité à aux traitement thermique ($z_{T^{\circ}C}$) ont été estimés à [0,0002min:3,38min] et [3,75°C:45,5°C] respectivement (Tableau 7).

Tableau 6 : Température cardinale, les paramètres de résistance à la chaleur de *B. cereus* *sensu lato* recueillis dans la littérature.

Paramètres	Laiterie	Min	Moy.	Max	Media	99th
T _{min}		0,1	7,94	20	4	12,9
T _{max}		37	45,39	55,48	40,96	48,4
T _{mean}		92	102.42	123.2	97.0	123.2
D _{mean}		0.0002	1.53	3.38	1.17	3.38
Z		7.76	24.21	45.5	9.75	45.5
D _{pasteurisation}	A	0	4.78	5.62	0.87	5.62
	B	0.004	4.39	5.24	0.80	5.24
	C	0.002	4.11	4.98	0.75	4.98
N	A	0	4.77	32.6	0.0449	32.60
	B	0	11.31	77.53	0.05	77.53
	C	0	25.16	172.68	0.07	172

A la base de données collectées et estimées précédemment, les valeurs de D_{T°C} de traitement de pasteurisation (D_{pasteurisation}) ont été estimés pour chaque laiterie. Le tableau 6 reporte les températures de pasteurisation et leur D_{pasteurisation}. Les valeurs de pasteurisation moyennes et médianes les plus basses sont respectivement de 4,11 log(min) et 0,75 log(min) pour la société C, tandis que les valeurs moyennes et médianes les plus élevées ont été rapportées pour la société A respectivement à 4,77 log(min) et 0,87 log(min).

Ces valeurs dépendent de la température de pasteurisation. En effet, la haute température de pasteurisation a été enregistrée pour l'entreprise C, tandis que la plus basse pour les entreprises A. L'analyse ANOVA a montré une différence significative entre la valeur médiane de D_{pasteurisation}.

Ensuite, le nombre de réduction décimale « n » a été calculée pour chaque entreprise par l'équation 8. Ils dépendent de la valeur de D_{pasteurisation} et le temps d'exposition à la température de pasteurisation. Évidemment, le "n" élevé pourrait être calculé pour l'entreprise qui utilise une température de pasteurisation élevée pendant une longue période. Ce cas a été observé pour l'entreprise C avec un nombre de réduction décimale de 0,07, suivi par la laiterie B 0,05 et enfin le laiterie A (0,0449). Quant au 99th percentile, il a été estimé à 32,6; 77,53 et

172,68 respectivement pour les laiteries A, B et C. L'analyse ANOVA des dernières valeurs a montré une différence significative entre les trois sociétés ($P < 0,05$).

III. 2. 1. 9. Estimation des paramètres de croissance de *B. cereus* à différentes étapes

Les valeurs de paramètres de croissance étaient estimées puis reportées dans le tableau n°:7.

Pour l'entreprise A, la phase de latence au stockage du lait cru dans le tank stockage module 2 est de 57,86 heures, dans le module 4 elle est de 44,35 heures, au stockage du lait pasteurisé dans le tank stockage module 5 elle est de 231,21 heures.

Pour l'entreprise B, le stockage du lait cru dans le tank stockage module 2 présente une phase de latence de 33,97 heures, au stockage du lait pasteurisé dans le module 4 elle est de 113,64 heures, et au module 5 de 231,21 heures.

Pour l'entreprise C, le stockage du lait cru dans le tank stockage module 2 présente une phase de latence de 60,79 heures, au stockage du lait pasteurisé dans le module 4 elle est de 113,61 heures, et au module 5 de 231,21 heures. Pour les trois entreprises, aucune croissance de *B. cereus* n'a été estimée durant les périodes mentionnées, quelle que soit la température aux étapes 2, 4 et 5. La μ T°C qui a été estimée a été tel que l'absence de croissance ne peut être remarquée durant le temps de stockage.

Les résultats obtenus montrent des phases de latence significativement différentes pour chaque entreprise et condition de stockage, ce qui démontre l'influence de ces facteurs dans la croissance de *B. cereus*, ainsi que l'absence de croissance estimée pour trois entreprises pendant des périodes précises, indépendamment de la température, ce qui montre l'influence de l'environnement de stockage dans lequel celui-ci est développée.

Table 7 : Concentration de *B. cereus* à toutes les étapes du processus de fabrication du lait pasteurisé.

Module	Les étapes	n°	Laiteries	Minimum $\lambda_{T^{\circ}\text{C}}$					
					mean	Max	Min	median	99%
H ₀	Réception du lait cru	1	A	//	1.53	4.99	0	1.39	4.31
			B	//	1.48	4.48	0	1.41	3.71
			C	//	1.41	4.38	0	1.35	3.61
G ₁	tanks du stockage (lait cru)	2	A	57.86	Pas de croissance				
			B	33.97					
			C	60.79					
I	Pasteurisation	3			1.076	4.836	0	0.733	3.989
				Voir Tableau 4	0.96	4.39	0	0.70	3.30
					0.95	4.29	0	0.67	3.31
G ₂	tanks du stockage (lait pasteurisé)	4	A	44.35	Pas de croissance				
			B	113.64					
			C	113.61					
G ₃	Conservation au réfrigérateur	5	All	213.21	Pas de croissance				
G ₄	Distribution	6			Voir tableau 4				

III. 2. 1. 10. Simulation de croissance de *B. cereus* dans les laiteries étudiées

Le transport réfrigéré est également indispensable lors de la distribution du lait pour maintenir la chaîne du froid jusqu'à ce que le lait pasteurisé atteigne le consommateur. Il est également recommandé de charger seulement les quantités qui peuvent être commercialisées seulement pour éviter

Les principes fondamentaux de la simulation de Monte Carlo sont de la répétition d'un très grand nombre d'itérations (10^4) pour simuler le comportement aléatoire des variables entrant en jeu dans le processus de croissance du *B. cereus* dans le lait pasteurisé distribué à température ambiante, à la recherche des facteurs de risque potentiels et à estimer les niveaux possibles à atteindre de contamination. Cela permet de générer différents types de distributions de probabilité pour les paramètres, et aussi d'évaluer l'incertitude de la simulation sur ses résultats. Dans les présents résultats, la simulation de Monte Carlo a été utilisée pour évaluer la variabilité de la croissance au fil du temps, ce qui a donné lieu à des résultats statistiquement significatifs tels que le maximum, la médiane, le centile à 99 % et le taux de croissance supérieur à 5 log, pour chaque mois de la période de distribution du lait pasteurisé à la température ambiante.

La modélisation de la croissance de *B. cereus* dans les industries laitières, en tant qu'outil d'évaluation et de gestion des risques microbiologiques, apporte des résultats dont la moyenne et le 99ème percentile des niveaux de contamination sont des indicateurs pertinents pour améliorer la sécurité des aliments et protéger les consommateurs.

III. 2. 1. 11. Croissance de *B. cereus* pendant la distribution du lait pasteurisé à la température ambiante

La croissance maximale du *B. cereus* est identique de 4,837 de janvier à mai, et en septembre. Elle diminue légèrement à 4,003 en juin avant d'augmenter très nettement de 7,111 et 9,899 respectivement en juillet et en août. Ces variations mensuelles témoignent de la variabilité de la croissance bactérienne qui peut survenir lors de la distribution à température ambiante du lait pasteurisé.

Laiterie A

Médiane pour la laiterie A

Pour la croissance de *B. cereus*, la médiane est relativement stable à 0,7337799 de janvier à mai et en septembre. Elle était nettement en baisse en juin (0,31395275), puis a connu une nette hausse en juillet (1,079) et en août (1,50). Ces variations mensuelles révèlent

une distribution des valeurs de croissance bactérienne au cours du temps des dispositions du lait pasteurisé à température ambiante.

99^e percentile pour la laiterie A

Le 99^e percentile de la croissance de *B. cereus* est constant à 3,990 de janvier à mai et en septembre, relativement en baisse en juin (2,692) puis en hausse en juillet (5,865) et août (8,165). Ces variations mensuelles mettent en avant la distribution de l'excroissance, plus au niveau des valeurs extrêmes de croissance bactérienne du lait pasteurisé lors de sa distribution à température ambiante.

Croissance supérieure à 5 log (pour la laiterie A)

Aucune croissance supérieure à 5 log *B. cereus* n'a été enregistrée de janvier à juin et en septembre. Seule la période de juillet avec 0,04077% des échantillons ayant excédé 5 log, pour 0,1364% en août. Ces résultats révèlent une faible fréquence mais en nette hausse, de la croissance bactérienne à des niveaux de plus en plus préoccupants lors de la distribution du lait pasteurisé à température ambiante.

Laiterie B

Les valeurs de Croissance maximale pour la laiterie B

La croissance maximale du *B. cereus* est identique de 4,932 de janvier à mai, et en septembre. Elle diminue légèrement à 3,170 en juin avant d'augmenter très nettement de 5,664 et 7,877 respectivement en juillet et en août. Ces variations mensuelles témoignent de la variabilité de la croissance bactérienne qui peut survenir lors de la distribution à température ambiante du lait pasteurisé.

Médiane pour la laiterie B

Pour la croissance de *B. cereus*, la médiane est relativement stable à 0,7048 de janvier à mai et en septembre. Elle était nettement en baisse en juin (0.2527), puis a connu une nette hausse en juillet (0.8412) et en août (1,062). Ces variations mensuelles révèlent une distribution des valeurs de croissance bactérienne au cours du temps des dispositions du lait pasteurisé à température ambiante.

99^e percentile pour la laiterie B

Le 99e percentile de la croissance de *B. cereus* est constant à 3,302 de janvier à mai et en septembre, relativement en baisse en juin (1.8866) puis en hausse en juillet (4,086) et août (5,355). Ces variations mensuelles mettent en avant la distribution de l'excroissance, plus au niveau des valeurs extrêmes de croissance bactérienne du lait pasteurisé lors de sa distribution à température ambiante.

Croissance supérieure à 5 log pour la laiterie B

Aucune croissance supérieure à 5 log *B. cereus* n'a été enregistrée de janvier à juin et en septembre. Seule la période de juillet avec 0,00016% des échantillons ayant excédé 5log, pour 0,0166% en août. Ces résultats révèlent une faible fréquence mais en nette hausse, de la croissance bactérienne à des niveaux de plus en plus préoccupants lors de la distribution du lait pasteurisé à température ambiante.

Laiterie C

Les valeurs de Croissance maximale pour la laiterie C

La croissance maximale du *B. cereus* est identique de 4,298 de janvier à mai, et en septembre. Elle diminue légèrement à 3,756 en juin avant d'augmenter très nettement de 5,504 et 7,653 respectivement en juillet et en août. Ces variations mensuelles témoignent de la variabilité de la croissance bactérienne qui peut survenir lors de la distribution à température ambiante du lait pasteurisé.

Médiane pour la laiterie C

Pour la croissance de *B. cereus*, la médiane est relativement stable à 0,6712 de janvier à mai et en septembre. Elle était nettement en baisse en juin (0.2385), puis a connu une nette hausse en juillet (0.8097) et en août (1,0207). Ces variations mensuelles révèlent une distribution des valeurs de croissance bactérienne au cours du temps des dispositions du lait pasteurisé à température ambiante.

99e percentile pour la laiterie C

Le 99e percentile de la croissance de *B. cereus* est constant à 3,3051 de janvier à mai et en septembre, relativement en baisse en juin (1.9896) puis en hausse en juillet (4,0115) et août (5,2505). Ces variations mensuelles mettent en avant la distribution de l'excroissance, plus au niveau des valeurs extrêmes de croissance bactérienne du lait pasteurisé lors de sa distribution à température ambiante.

Croissance supérieure à 5 log pour la laiterie C

Aucune croissance supérieure à 5 log *B. cereus* n'a été enregistrée de janvier à juin et en septembre. Seule la période de juillet avec 0,00037% des échantillons ayant excédé 5log, pour 0,01444% en août. Ces résultats révèlent une faible fréquence mais en nette hausse, de la croissance bactérienne à des niveaux de plus en plus préoccupants lors de la distribution du lait pasteurisé à température ambiante.

Tableau 8 : Distribution de *B. cereus* au moment de la distribution.

Laiterie A									
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joui	Juillet	Aout	septembre
Mean	1,074585305	1,07458531	1,07458531	1,07458531	1,07458531	0,516811953	1,57965982	2,1993203	1,07458531
Max	4,8367656	4,8367656	4,8367656	4,8367656	4,8367656	4,002794538	7,11013286	9,89925763	4,8367656
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
median	0,7337799	0,7337799	0,7337799	0,7337799	0,7337799	0,313952754	1,07866972	1,50180449	0,7337799
99 th	3,9892352	3,9892352	3,9892352	3,9892352	3,9892352	2,691923104	5,86424785	8,16464353	3,9892352
>5 log	0	0	0	0	0	0	0,04077	0,1364	0
Laiterie B									
Mean	0,957235976	0,95723598	0,95723598	0,95723598	0,95723598	0,39555546	1,14908316	1,46324495	0,95723598
Max	4,3913484	4,3913484	4,3913484	4,3913484	4,3913484	3,1705932	5,66396005	7,87657834	4,3913484
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
median	0,7048835	0,7048835	0,7048835	0,7048835	0,7048835	0,25271914	0,84121689	1,06209259	0,7048835
99 th	3,3020573	3,3020573	3,3020573	3,3020573	3,3020573	1,88662547	4,08506049	5,35537816	3,3020573
>5 log	0	0	0	0	0	0	0,00016	0,0166	0
Laiterie C									
Mean	0,948229798	0,95072177	0,94921174	0,94907362	0,94840053	0,39321776	1,13785388	1,44861024	0,94840053
Max	4,297961	4,297961	4,297961	4,297961	4,297961	3,75672831	5,50375342	7,65378721	4,297961
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
median	0,6712035	0,6727845	0,6716077	0,6716077	0,6712035	0,23846624	0,8096904	1,0207814	0,6712035
99 th	3,3051346	3,319571	3,3104822	3,3104822	3,309443	1,98958505	4,01146468	5,25051515	3,309443

>5 log	0	0	0	0	0	0	0,00037	0,01444	0
--------	---	---	---	---	---	---	---------	---------	---

CONCLUSION

La présente étude s'est donné pour objectif d'analyser les risques encourus du fait de la présence de *Bacillus cereus* dans le lait cru, ainsi que des mesures de contrôle appert permet de garantir la sécurité alimentaire. En caractérisant le profil microbiologique de *B. cereus*, sa prévalence dans le lait et les produits laitiers, tout en pointant les risques pour la santé humaine, le bilan a permis d'établir la pertinence du caractère préventif de *Bacillus cereus* sur le lait cru et les produits qui y sont dérivés. Ce travail s'est construit autour de la présence de souches de *B. cereus* dans le lait cru de trois laiteries sélectionnées ayant des prévalences variables et au seuil critique (supérieur à 5 log UFC/mL) certes à mains d'être contaminant comme vecteur de risque d'intoxication alimentaires. En effet, la présence de gènes d'entérotoxines, souvent mis en avant dans la littérature scientifique, dans les souches issues du lait et produits laitiers, mais aucune souche présentant le gène émétique (entérotoxique) n'a été identifiée dans notre étude. En outre, la simulation de Monte Carlo a permis de soumettre la possibilité d'une multiplication de *Bacillus cereus* lors de la livraison du lait, dont la distribution se fait à température ambiante, indiquant la dépendance à la tâche du van de transport sujet à une perte en l'efficacité thermorégulatrice sans la vérification de la température d'utilisation du lait. En somme, les souches de *Bacillus cereus* retrouvées dans le lait cru ont montré des capacités à produire des toxines entérotoxiques responsable de l'apparition des maladies diarrhéiques chez les consommateurs des produits laitiers contaminés dont elles sont issues. L'absence de souches à gène émétique a cependant permis d'éviter la prise en considération de ce risque au regard de leur comparaison avec *Bacillus cereus*, très contaminante, mais à même d'être évitée par le respect des bonnes règles d'hygiène au regard des produits laitiers contaminés appelant à relancer la vigilance sur les protocoles de contrôle.

D'autre part, dans le cas de la simulation du lait cru, la pasteurisation était efficace pour réduire la population de *B. cereus*. En effet, pas de croissance de *B. cereus* n'est envisagée lors du stockage en cuve si le temps de stockage demeure inférieur à la phase de latence de 34 heures ; en revanche, pour la simulation de Monte Carlo, les distributions des températures à température ambiante, sont envisagées sans que le risque potentiel d'un développement pris en étau dans le cas du *Bacillus* ne soit négligé. Donc c'est une condition limitante qui peut être préjudiciable à la sécurité du lait.

La pasteurisation a eu des effets significatifs sur *Bacillus cereus*, en permettant de réduire la population de *B. cereus*, ce qui a été avéré dans notre étude, en permettant de réduire la concentration de *Bacillus cereus* dans le lait cru, ce qui demeure une manière efficace de contrôler la contamination.

La pasteurisation a eu une action positive sur le *Bacillus cereus*, a permis de réduire cette population bactérienne du lait cru. Les résultats obtenus montrent également que ce traitement thermique a permis une diminution significative de la concentration de *B. cereus* tant qu'elle garantit la protection et la sécurité alimentaire contre tout risque d'intoxication alimentaire par la

présence de toxine, ce redimensionnement des facteurs pathogènes est indispensable à la qualité microbiologique du lait pasteurisé et à la sécurité dans la distribution et consommation du lait.

Dans ce cadre, nous nous sommes attachés à évaluer l'efficacité de la pasteurisation sur l'inactivation des toxines présentes dans le lait cru, en démontrant dans ce cas de figure que l'on fait disparaître efficacement ces toxines éventuellement produites dans le lait cru contaminé, condition essentielle pour protéger et préserver la sécurité humaine des consommateurs de produits laitiers.

Pour conserver la qualité du lait pasteurisé tout au long de la chaîne d'approvisionnement, le lait doit être soumis à des conditions de stockage optimales. Cela implique de le maintenir à une température constante entre 0 et 4 °C (en réfrigération), à l'abri de la lumière et de toute contamination croisée avec d'autres aliments, en particulier les produits crus, pour garantir sa sécurité et assurer une bonne durée de conservation après la pasteurisation. La bonne condition de stockage est d'autant plus essentielle que bien que le lait soit pasteurisé, il peut présenter un risque de développement microbien si l'on ne respecte pas ces préconisations. Un stockage à des températures supérieures à 4 °C favorise la multiplication de certains germes, y compris *Bacillus cereus*, qui risqué la sécurité du lait. Une exposition à la chaleur, ainsi que les variations de température en stockage, contribuent à la détérioration de la qualité du lait pasteurisé. Les recommandations veulent que le lait soit conservé dans des tank et que la température soit contrôlée avec régularité tout au long de la chaîne d'approvisionnement pour limiter au maximum tout risque de développement microbien.

L'utilisation combinée de la microbiologie quantitative, de la microbiologie prévisionnelle et de la simulation de Monte Carlo avec @Risk vous a permis d'accéder à une approche robuste d'analyse de la sécurité du lait cru, qui a permis :

1. De quantifier la contamination par *B. cereus*
2. De prédire les croissances bactériennes dans différentes conditions
3. D'évaluer les risques, via la variabilité des facteurs comme le temps et la température de stockage, et la distribution

La simulation Monte Carlo, approche statistique, modélise des sources d'incertitude pour évaluer les risques de votre distribution du lait, en prenant en compte les différentes variables intervenantes dans celle-ci, au rang desquelles la température, le temps de transport, et les conditions de stockage correspondantes. Cette démarche affine l'analyse des scénarios possibles, permettant de bien identifier les points critiques et de mettre en œuvre les bonnes mesures de contrôle pour réduire le risque de contamination par *Bacillus cereus* au transport du lait cru. Les résultats obtenus lors de la simulation Monte Carlo montrent les scénarios les plus critiques du point de vue du risque de contamination par *Bacillus cereus* pour la distribution du lait, dans le cadre desquels on conserve l'importance de maintenir des conditions de température favorables sur toute la durée du transport,

afin d'empêcher le développement des bactéries en cause. Ce sont les résultats directement exploitables en termes de contrôle et de surveillance de la distribution du lait en vue de maintenir ses conditions de sécurité et de qualité, en insistant sur l'application rigoureuse de pratiques adéquates.

Les productions laitières font l'objet de diverses analyses physicochimiques (matière grasse, densité, acidité, etc.) du lait cru réalisées fréquemment, respectant la réglementation, afin de garantir la qualité du lait.

Les analyses bactériologiques de lait cru sont essentielles pour la qualité et la sécurité du lait et, prennent en compte la recherche de FMAT, d'entérobactéries et l'absence de salmonelles. Les résultats sont généralement conformes aux attentes, mais les cas dérogatoires peuvent être trouvés, relativement logiquement pour le lait cru non traité thermiquement. Toutefois, l'absence de bonnes pratiques d'hygiène et de mise en œuvre du système HACCP constitue la principale cause de ces contaminations. Ces contrôles expérimentaux récurrents permettent d'illustrer les efforts de laiteries pour garantir la sécurité et la qualité de la production de leurs produits laitiers.

Les analyses bactériologiques sont importantes pour garantir la santé des consommateurs, pour la qualité et la sécurité du lait cru répondent aux exigences réglementaires. La FMAT constitue une analyse bactériologique permettant de quantifier la masse totale des bactéries aérobies disponibles dans le lait cru. Ce groupe est constitué par des bactéries bénéfiques comme potentiellement pathogènes. L'analyse de cette analyse est située pour le lait cru important, pour assurer la qualité, la sécurité et la fraîcheur du lait cru.

L'évaluation des entérobactéries se fait afin de rechercher des indicateurs de fécalités. Des entérobactéries présentes dans le lait cru peuvent signifier des contaminations croisées ou une mauvaise hygiène dans la production. De ce fait, cette analyse contribue à vérifier que le lait est non contaminé par des agents fécaux.

La recherche des salmonelles présentes dans le lait cru est un outil indispensable pour assurer la sécurité du lait. Étant donné que des salmonelles sont souvent à l'origine de graves maladies, elles doivent être recherchées dans le lait cru. Cette analyse constitue un outil majeur pour la qualité et la sécurité des produits laitiers.

Des analyses microbiologiques du lait cru sont menées régulièrement pour détecter la contamination, quelle qu'en soit l'origine (mauvais traitement du lait, qualité de l'eau, statut de santé des animaux). Des bactéries pathogènes telles qu'E. coli, Staphylococcus aureus, Salmonella, entre autres, peuvent être présentes et mettent en péril la santé publique si elles ne sont pas détectées ni exprimées. Ainsi, il est impératif de mener des contrôles rigoureux sur le lait cru afin de prévenir et gérer ces contaminations. La salubrité du lait oblige à s'attacher à la sécurité sanitaire du lait cru et de ses dérivés.

Jouer un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire des produits laitiers, le système HACCP consiste à identifier les dangers potentiels et à les contrôler à chacune des étapes de la production. En se plaçant en amont pour prévenir et non corriger, le HACCP permet de garantir la sécurité des aliments en surveillant les points critiques tout au long du processus de production laitière. Ce système permet à laiteries de détecter les risques, d'établir des mesures de contrôle adaptées et de documenter l'ensemble du processus, de façon à assurer la qualité et la sécurité des produits laitiers destinés au consommateur final.

Les contaminations microbiologiques dans le lait cru peuvent être influencées par différents facteurs, comme une mauvaise conservation, l'utilisation d'équipements en mauvais état, un contact avec les sécrétions animales ou la pollution de l'environnement. Ces contaminations peuvent altérer la qualité du lait et la sécurité des consommateurs, entre autres par des modifications organoleptiques (odeurs, goûts) et par le risque qu'elles sont pour la santé publique.

Les analyses physicochimiques et bactériologiques du lait cru constituent un levier déterminant dans l'ensemble de la filière laitière pour assurer la qualité et la sécurité des produits laitiers. Le respect des normes réglementaires est globalement de mise, les laiteries procédant à des contrôles réguliers pour garantir leur conformité. Malgré certaines contaminations bactériologiques dues à l'absence de traitement thermique du lait, les bonnes pratiques d'hygiène et le HACCP contribuent à minimiser ce risque. Cela traduit finalement l'engagement des laiteries en faveur de la qualité et de la sécurité des produits laitiers.

Les bonnes pratiques d'hygiène sont fondamentales pour la prévention des contaminations bactériologiques du lait cru dans les laiteries, et impliquent notamment le lavage fréquent des équipements, la formation du personnel sur l'hygiène et la conduite du lait, ainsi que le contrôle régulier de l'hygiène des installations. Le rôle stratégique du HACCP dans la sécurité alimentaire est de contribuer à l'identification, l'évaluation et la maîtrise des dangers pouvant être introduits à chaque étape de la transformation laitière.

Les bonnes pratiques d'hygiène sont prioritaires dans les laiteries pour prévenir la contamination bactériologique du lait cru, menaçant la qualité et la sécurité des produits laitiers. Ainsi, la mise en œuvre de protocoles stricts sur l'hygiène de la transformation laitière (nettoyage régulier des équipements, désinfection des locaux, manipulation adéquate du lait) peut garantir la salubrité des produits laitiers en laiterie. Par ailleurs, la formation du personnel sur ces bonnes pratiques d'hygiène sera indispensable pour l'adoption de ces gestes pour éviter toute contamination et garantir des niveaux de propreté et de sécurité alimentaire satisfaisants.

Recommandation et perspectives

La vente de lait pasteurisé à température ambiante peut représenter un risque pour la santé des consommateurs en raison de la prolifération bactérienne qui peut survenir au bout d'un certain temps. La vente de lait pasteurisé à température ambiante, est couramment effectué dans de nombreuses -point de vendre, engendre des risques pour la santé publique. Les résultats de notre étude permettaient de constater que la temps de vendre du lait à température ambiante était susceptible de dépasser les 12 heures et d'autre part la croissance bactérienne peuvent devenait importante après seulement 6 heures (la simulation de croissance pendant la distribution à la température ambiante). Il est donc essentiel d'éduquer le consommateur aux risques liés à la vente de lait pasteurisé à température ambiante, et de mettre en place un ensemble d'actions appropriées pour protéger le consommateur. Il est vivement recommandé de ne pas consommer du lait pasteurisé laissé à température ambiante au-delà de plusieurs heures présenté en vrac . et en fin Le vendeur doit veiller à ce que le lait soit conservé et vendu à la température souhaitée afin d'éviter une contamination dans les cas de prolifération par *B. cereus*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdelhamid, U., Badis, I. B. N., Eme, D., and Lmd, C. (2019). *Etude de la variation saisonnière des paramètres biochimiques et microbiologiques du lait cru de vache à la traite dans l'Ouest Algérien.*

Afchain, A.L., Carlin, F., Nguyen-the, C. and Albert, I. (2008). Improving quantitative exposure assessment by considering genetic diversity of *B. cereus* in cooked, pasteurised and chilled foods. *International Journal of Food Microbiology*, 128(1), 165-173. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.07.028>

Agata N, Ohta M, Arakawa Y and Mori M (1995a) The *bceT* gene of *Bacillus cereus* encodes an enterotoxigenic protein. *Microbiology* 141: 983–988

Ahmed, A.A.H., Moustafa, M.K. and Marth, E.H. (1993). Incidence of *Bacillus cereus* in milk and some milk products. *Journal of Food Protection*, 46(2), 126-128

Andersson, A. 1995. *Bacillus cereus*, strategy for survival. SIK report 1995.

Asano S-I, Nukumizu Y, Bando H, Iizuka T and Yamamoto T (1997) Cloning of novel enterotoxin genes from *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 1054–1057

Auger, S., Ramarao, N., Faille, C., Fouet, A., Aymerich, S. and Gohar, M. (2009). Biofilm formation and cell surface properties among pathogenic and nonpathogenic strains of the *Bacillus cereus* group. *Appl Environ Microbiol* 75, 6616–6618.

Baazize-Amami, D., Gharbi, I., Dechicha, A.S., Kebbal, S. and Guetarni, D. (2019). *Qualité bactériologique et sanitaire du lait cru de bovins des circuits direct et indirect dans la région centre de l'Algérie. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 7(2), 267-272.

Banykó, J. and Vyletřlová, M. (2009). Determining the source of *Bacillus cereus* and *Bacillus licheniformis* isolated from raw milk, pasteurized milk and yoghurt. *Letters in Applied Microbiology*, 48(3), 318-323.

Baranyi, J., da Silva, N.B. and Ellouze, M. (2017). Rethinking tertiary models: Relationships between growth parameters of *Bacillus cereus* strains. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-8.

Barkley, M.B. and Delaney, P. (1980). An occurrence of bitty cream in Australian pasteurized milk. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 34, 191-198.

Bayliss, C.E., Waites, W.M. and King, N.R. (1981). Resistance and structure of spores of *Bacillus subtilis*. *Journal of Applied Bacteriology*, 50, 379-390.

Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., et Khechimi, W., (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [Rapport de recherche] CIHEAM-IAMM.

Buchanan R.L. and Cygnarowicz M.L., 1990. A mathematical approach toward defining and calculating the duration of the lag phase. *Food Microbiol.*, 7(3), 237-240.

Buchanan R.L., Whiting R.C. and Damert W.C., 1997. When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food Microbiol.*, 14(4), 313-326.

Carlin, F., Albagnac, C., Rida, A., Guinebrière, M.H., Couvert, O. and Nguyen-The, C. (2013). Variation of cardinal growth parameters and growth limits according to phylogenetic affiliation in the *Bacillus cereus* Group. Consequences for risk assessment. *Food Microbiology*, 33(1), 69-76.

Cherif-Antar, A., Moussa-Boudjemâa, B., Didouh, N., Medjahdi, K., Mayo B. and Flórez A.B. (2016). Diversity and biofilm-forming capability of bacteria recovered from stainless steel pipes of a milk-processing dairy plant. *Dairy Science and Technology*, 96, 27-38.

Chorin, E., Thuault, D., Cléret, J.J. and Bourgeois, C.M. (1997). Modelling *Bacillus cereus* growth. *International Journal of Food Microbiology*, 38(2-3), 229-34.

Choudhary, R., Bandla, S., Watson, D.G., John, H., Abughazaleh, A. and Bhattacharya, B. (2011). Performance of coiled tube ultraviolet reactors to inactivate *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores in raw cow milk and commercially processed skimmed cow milk. *Journal of Food Engineering*, 107, 14-20.

Christiansson, A. (1992). The toxicology of *Bacillus cereus*. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 275, 30-35.

Coghill, D. and Juffs, H.S. (1979). Incidence of psychrotrophic sporeforming bacteria in pasteurized milk and cream products and effect of temperature on their growth. *Australian Journal of Dairy Technology*, 34, 150-153.

Crielly, E.M., Logan, N.A. and Anderton, A. (1994). Studies on the *Bacillus* flora of milk and milk products. *The Journal of applied bacteriology*, 77, 256-263.

CROSSLEY, E. L. (1970). MODERN DAIRY SCIENCE. *Journal of the Royal Society of Arts*, 118(5167), 402–413. <http://www.jstor.org/stable/41370608>

Dalgaard,P. (1995) Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish. *Int. J. Food Microbiol.* 26, 305-317.

Delhalle, L., Daube, G., Adolphe, Y., Crevecœur, S., and Clinquart, A. (2012). *Les modèles de croissance en microbiologie prévisionnelle pour la maîtrise de la sécurité des aliments (synthèse bibliographique)*. 16(3), 369–381.

Dominguez,S.A. and Schaffner,D.W. (2007) Development and validation of a mathematical model to describe the growth of *Pseudomonas* spp. in raw poultry stored under aerobic conditions. *Int. J. Food Microbiol.* 120, 287-295.

Drosinos,E.H., Mataragas,M., Veskovic-Moracanin,S., Gasparik-Reichardt,J., Hadziosmanovic,M. and Alagic,D. (2006) Quantifying nonthermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in European fermented sausages using bacteriocinogenic lactic acid bacteria or their bacteriocins: a case study for risk assessment. *J. Food Prot.* 69, 2648-2663.

Fei, P., Xu, Y., Zhao, S., Gong, S. and Guo, L. (2019). Olive oil polyphenol extract inhibits vegetative cells of *Bacillus cereus* isolated from raw milk. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3894-3902.

Feiner Gerhard, Meat Products Handbook, *Woodhead Publishers, Cambridge*, 2006, p. 648, ISBN:13:978-1- 84569-050-2

Fernández, A.; Ocio, M.J.; Fernández P.S. and Martínez, A. (2001). Effect of heat activation and inactivation conditions on germination and thermal resistance parameters of *Bacillus cereus* spores. *International Journal of Food Microbiology*, 63, 257-264, 0168- 1605

Foster, S.J., Johnstone, K. (1990). Pulling the trigger: the mechanism of bacterial spore germination. *Mol. Microbiol.* 4:137–41.

González, I., López, M., Martínez, M., Bernardo, A. and González, J. (1999). Thermal inactivation of *Bacillus cereus* spores formed at different temperatures. *International Journal of Food Microbiology* 51: 81-84.

H. Eulmi, K. Deghnouche and D. E. Gherissi (2023): *Dairy cattle breeding practices, production and constraints in arid and semi-arid Algerian bioclimatic environments*, *International Journal of Environmental Studies*.

Hassan, G. and Nabbut, N. (1996). Prevalence and characterization of *Bacillus cereus* isolates from clinical and natural sources. *Journal of Food Protection*, 59(2), 193-196.

Hirondel J.-C., 2014. *Le marché de la filière laitière en Algérie 2014*. UBI- FRANCE, Alger, Algérie, 47 p.

Hoden A et Coulon J B 1991 Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques. *INRA Production Animale* 4, 361-367.

HWANG, J.Y., PARK, J. H. (2010). Survival and growth of *Bacillus cereus* group and presumptive *Cronobacter* spp. contaminated naturally in rehydrated Sunsik. *Food Sci. Biotechnol.* 19, 1683-1687.

Ievgeniia Ostrov Delhalle, L., Daube, G., Adolphe, Y., Crevecoeur, S., and Clinquart, A. (2012). *Les modèles de croissance en microbiologie prévisionnelle pour la maîtrise de la sécurité des aliments (synthèse bibliographique)*. 16(3), 369–381.

Johnston, D.W. and Bruce, J. (1982). Incidence of thermotolerant psychrotrophs in milk produced in the west of Scotland. *The Journal of applied bacteriology*, 52, 333-337.

Koutsoumanis, K. (2001) Predictive modeling of the shelf life of fish under nonisothermal conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 67, 1821-1829.

Larsen H.D. and Jørgensen, K. (1997). The occurrence of *Bacillus cereus* in Danish pasteurized milk. *International Journal of Food Microbiology*, 34, 179-186.

- Larsen, H.D. and Jørgensen, K. (1999). Growth of *Bacillus cereus* in pasteurized milk products. *International Journal of Food Microbiology*, 46(2), 173-176.
- Lin, S., Schraft, H., Odumeru, J.A. and Griffiths, M.W. (1998). Identification of contamination sources of *Bacillus cereus* in pasteurized milk. *International Journal of Food Microbiology*, 43(3), 159-171.
- Liu, F., Yang, R.Q. and Li, Y.F. (2006) Correlations between growth parameters of spoilage micro-organisms and shelf-life of pork stored under air and modified atmosphere at -2, 4 and 10°C. *Food Microbiol.* 23, 578-583.
- Luu-Thi, H., Khadka, D.B. and Michiels, C.W. (2014). Thermal inactivation parameters of spores from different phylogenetic groups of *Bacillus cereus*. *International Journal of Food Microbiology*, 189, 183-188.
- Mafart P. Food engineering and predictive microbiology: on the necessity to combine biological and physical kinetics. *Int J Food Microbiol.* 2005 Apr 15;100(1-3):239-51. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.10.023.
- Magnusson, M., Christiansson, A. and Svensson, B. (2007). *Bacillus cereus* spores during housing of dairy cows: factors affecting contamination of raw milk. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2745-54.
- Malek, F., Boudjemaa, B.M., Aouar-Métri, A., and Kihal, M. (2013). Identification and genetic diversity of *Bacillus cereus* strains isolated from a pasteurized milk processing line in Algeria. *Dairy Science and Technology*, 93(1), 73-82.
- Mamine, F., Fares, M., Duteurtre, G., and Madani, T. (2021). Regulation of the dairy sector in algeria between food security and development of local production: Review. *Revue d'Elevage et de Medecine Veterinaire Des Pays Tropicaux (France)*, 74(2), 73–81. <https://doi.org/10.19182/remvt.36362>
- Manvi Sharma, S.K Anand. Biofilms evaluation as an essential component of HACCP for food/dairy processing industry a case, *Food Control, Volume 13, Issues 6–7, 2002, 469-477.*
- Margosch, D., M. G. Gänzle, et al. (2004). "Pressure inactivation of *Bacillus* endospores." *Applied and Environmental Microbiology* 70(12): 7321-7328.

- McKinnon, C.H. and Pettipher, G.L. (1983). A survey of heat-resistant bacteria in milk with particular reference to psychrotrophic spore-forming bacteria. *Journal of Dairy Research*, 50, 163-170
- McMeekin, T. A., Olley, J., Ratkowsky, D. A., and Ross, T. (2002). Predictive microbiology: Towards the interface and beyond. *International Journal of Food Microbiology*, 73(2–3), 395–407. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00663-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00663-8)
- McMeekin, T. A., Olley, J., Ratkowsky, D. A., and Ross, T. (2002). Predictive microbiology: Towards the interface and beyond. *International Journal of Food Microbiology*, 73(2–3), 395–407. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00663-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00663-8)
- Meribai, A., Ouarkoub, M. and Bensoltane, A. (2016). Algerian dairy sector analysis: deficit aspects and perspectives. *Journal of New Sciences*, 35, 1986-1992.
- Meskini, Z., Dahou, A., Radja, D. S., Yerou, H., and Homrani, A. (2023). Survey of Herd Management on Conventional Dairy Farms in North Algeria. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*, 37, 95–108. <https://doi.org/10.15316/sjafs.2023.011>
- Moir, A., B, Corfe, M. and Behravan, J. (2002). Spore germination. *Cellular and Molecular Life Sciences* 59: 403-409.
- Mortimer PR and McCann G (1974) Food-poisoning episodes associated with *Bacillus* in fried rice. *Lancet* 1: 1043-1045.
- Moussa-Boudjemaa, B., Kihal, M., López, M. and Gonzalez, J. (2004). The incidence of *Bacillus cereus* spores in Algerian raw milk: a study of the chief sources of contamination. *Archiv Fur Lebensmittel hygiene*, 55, 94-96
- Nauta, M. J. (2002). Modelling bacterial growth in quantitative microbiological risk assessment: Is it possible? *International Journal of Food Microbiology*, 73(2–3), 297–304. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00664-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00664-X)
- Nauta, M.J. (2001). A modular process risk model structure for quantitative microbiological risk assessment and its application in an exposure assessment of *Bacillus cereus* in a REPFED. *Techreport*, January, 1–100. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/149106007.pdf>
- Nyokabi, S., Luning, P. A., Boer, I. J. M. De, Korir, L., Muunda, E., Bebe, B. O., Lindahl, J., Bett, B., and Oosting, S. J. (2021). Milk quality and hygiene : Knowledge , attitudes and

practices of smallholder dairy farmers in central Kenya. *Food Control*, 130(January), 108303. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108303>

O'Mahony, F., 1988. Rural dairy technology: Experiences in Ethiopia. ILCA Manual No. 4. *Dairy Technology Unit*, pp 3, 8., International Livestock Center for Africa International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, Addis Ababa, Ethiopia.

Ohkubo, Y., Komori, K., Uchida, K., Motoshima, H. and Katano, N. (2019). Seasonal variation in spore levels of *Bacillus cereus* and its psychrotrophic strains in raw milk in Hokkaido, Japan, and evaluation of strain diversity. *International Dairy Journal*, 97, 209-215.

Pillai, A., Thomas, S. and Arora, J. (2006) *Bacillus cereus*: the forgotten pathogen. *Surg Infect (Larchmt)* 7, 305-308.

Porcellato, D., Aspholm, M., Skeie, S.B. and Mellegård, H. (2019). Application of a novel amplicon-based sequencing approach reveals the diversity of the *Bacillus cereus* group in stored raw and pasteurized milk. *Food Microbiology*, 81, 32-39.

References

Ross,T., Dalgaard,P. and Tienungoon,S. (2000) Predictive modelling of the growth and survival of *Listeria* in fishery products. *Int. J. Food Microbiol.* 62, 231-245.

Rosso, L., Lobry, J.R., Bajard, S., Flandrois, J.P., 1995. Convenient model to describe the combined effects of temperature and pH on microbial growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 610–616. <https://doi.org/10.1128/aem.61.2.610-616.1995>.

Rosso, L., Lobry, J.R., Flandrois, J.P., 1993. An unexpected correlation between cardinal temperatures of microbial growth highlighted by a new model. *J. Theor. Biol.* 162, 447–463. <https://doi.org/10.1006/jtbi.1993.1099>.

Sabrina Laouami. *Métabolisme et toxinogénèse de Bacillus cereus : rôles de l'enzyme fermentaire LdhA et du régulateur rédox Rex*. Sciences agricoles. Université d'Avignon, 2013.

Saleh-Lakha, S., Leon-Velarde, C.G., Chen, S., Lee, S., Shannon, K., Fabri, M., Downing, G. and Keown, B. (2017). A Study to assess the numbers and prevalence of *Bacillus cereus* and its toxins in pasteurized fluid milk. *Journal of Food Protection*, 80(7), 1085-1089.

Salustiano, V.C., Andrade, N.J., Soares, N.F.F., Lima, J.C., Bernardes, P.C., Luiz, L.M.P. and Fernandes, P.E. (2009). Contamination of milk with *Bacillus cereus* by post-pasteurization surface exposure as evaluated by automated ribotyping. *Food Control*, 4, 439-442.

Sara A. Burgess, Denise Lindsay, Steve H. Flint, 2010. Thermophilic bacilli and their importance in dairy processing, *International Journal of Food Microbiology*, Volume 144, Issue 2, 2010, 215-225.

Sassi El. H. (2019). Etude de la variation saisonnière des paramètres biochimiques et microbiologiques du lait cru de vache à la traite dans l'Ouest Algérien.

Scheldeman, P. (2004). Occurrence and resistance of potentially highly heat resistant spore forming bacteria in milk products and at dairy farms. PhD Thesis. Universiteit Gent, Gent, Belgium.

Scurrah, K. J., Robertson, R. E., Craven, H. M., Pearce, L. E. and Szabo, E. A. (2006). Inactivation of *Bacillus* spores in reconstituted skim milk by combined high pressure and heat treatment. *Journal of Applied Microbiology* 101: 172- 180.

Song, X., Huang, X., Xu, H., Zhang, C., Chen, S., Liu, F., Guan, S., Zhang, S., Zhu, K. and Wu, C. (2020). The prevalence of pathogens causing bovine mastitis and their associated risk factors in 15 large dairy farms in China: An observational study. *Veterinary Microbiology*, 247, 108757.

Stoeckel, M., Lücking, G., Ehling-Schulz, M., Atamer, Z. and Hinrichs, J. (2016). Bacterial spores isolated from ingredients, intermediate and final products obtained from dairies: thermal resistance in milk. *Dairy Science and Technology*, 96(4), 569-577.

Te Giffel, M.C., Beumer, R.R., Granum, P.E. and Rombouts, F.M. (1997). Isolation and characterization of *Bacillus cereus* from pasteurized milk in household refrigerators in the Netherlands. *International Journal of Food Microbiology*, 34, 307-318.

Thuault, D. and Couvert, O. (2009) La simulation du comportement des micro-organismes dans les aliments. *Rev. Gen. Froid cond.air* 1090, 45-50.

Tirloni, E., Stella, S., Celandroni, F., Mazzantini, D., Bernardi, C. and Ghelardi, E. (2022). *Bacillus cereus* in dairy products and production plants. *Foods*, 11(17), 2572.

Ubong, A., Chai, L.C., Loo, Y.Y., Malcolm, T.T.H, Lee, H.Y., Nishibuchi, M. and Son, R. 2013. Prevalence of *Bacillus cereus* in Ultra-High Heat Treated (UHT) Milk. Retrieved

Valík, L., Görner, F. and Lauková, D. (2018). Growth dynamics of *Bacillus cereus* and shelf-life of pasteurised milk. Czech Journal of Food Sciences, 21(6), 195-202.

Vignola C., 2010. Sciences et technologie du lait, transformation du lait. Ed 2. Press polytechnique de Montréal. 2010. 608 p. ISBN-10 : 2553015526.

Vilain S, Luo Y, Hildreth M, Brözel V (2006) Analysis of the life cycle of the soil saprophyte *Bacillus cereus* in liquid soil extract and in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 72:4970–4977

Wong, H.C., Chang, M.H. and Fan, J.Y. (1988). Incidence and characterization of *Bacillus cereus* isolates contaminating dairy products. *Applied and Environmental Microbiology*, 54(3), 699-702.

Yuan Liu, Delhalle, L., Daube, G., Adolphe, Y., Crevecœur, S., and Clinquart, A. (2012). Les modèles de croissance en microbiologie prévisionnelle pour la maîtrise de la sécurité des aliments (synthèse bibliographique). 16(3), 369–381.

Zhou, G., Liu, H., He, J., Yuan, Y. and Yuan, Z. (2008). The occurrence of *Bacillus cereus*, *B. thuringiensis* and *B. mycoides* in Chinese pasteurized full fat milk. *International Journal of Food Microbiology*, 121(2), 195-200.

Ziane, M., Leguerinel, I. and Membré, J.M. (2019). A quantitative microbiological exposure assessment of *Bacillus cereus* group IV in couscous semolina, Algeria. *Microbial Risk Analysis*, 11, 11-22.

Zwietering, M.H., de Wit, J.C. and Notermans, S. (1996). Application of predictive microbiology to estimate the number of *Bacillus cereus* in pasteurised milk at the point of consumption. *International Journal of Food Microbiology*, 30(1-2), 55-70.