



Rapport final

# Recyclage de la litière en production laitière : conditions optimales de traitement pour le contrôle des agents pathogènes

Projet IRDA 400276

Projet MAPAQ IA121687

Date : 5 juin 2024

Responsable scientifique : Caroline Côté, agr., Ph. D.,

Ce rapport a été produit à l'attention du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)



À l'IRDA, on **collabore**, on se **questionne**, on **explore** et on **progresses** ensemble dans la même direction : celle d'une agriculture saine, dynamique et performante.

Nous sommes des **scientifiques**, mais aussi des **gens de terrain** qui **collaborent** avec l'ensemble du milieu agricole.

Notre mission consiste à innover en agroenvironnement pour créer ensemble la production agricole de demain. Consulter le [www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca) pour en connaître davantage sur l'Institut et ses activités.

## Questions ou commentaires

**Caroline Côté**, agr., Ph.D.

Chercheuse en hygiène de l'environnement agricole

Coordonnatrice aux partenariats et à l'innovation

Responsable scientifique du projet

T : 450 653-7368 p. 310

[caroline.cote@irda.qc.ca](mailto:caroline.cote@irda.qc.ca)

## Auteurs du rapport

IRDA

- Mylène Généreux, agr., M.Sc.
- Ann-Frédérique Tarakdjian
- Stéphane Godbout, ing., agr., Ph.D.
- Caroline Côté, agr., Ph. D.

## Équipe de réalisation

IRDA

- Denis Potvin, agr.
- Cédric Morin, tech.
- Vincent Desbiens, ing. jr.
- Mélanie Dominique, M.Sc.
- Annie Fortin, B.Sc.
- Éliane Latour, tech.
- Élodie Larouche, M.Sc.

## Collaborateurs

Groupe Valmetal

- Mathieu St-Louis
- Pascal Germain

Entreprises agricoles

## Merci à nos partenaires financiers

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée dans le cadre du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada. L'équipe de recherche tient également à remercier l'implication du Groupe Valmetal dans la réalisation et le financement de ce projet, ainsi que les producteurs laitiers ayant participé à l'étude.

 PARTENARIAT  
CANADIEN pour  
l'AGRICULTURE

 Canada Québec

PROGRAMME  
**INNOV'  
ACTION**  
AGROALIMENTAIRE

 VALMETAL

**Ce rapport peut être cité comme suit :**

Généreux, M., A.-F. Tarakdjian, S. Godbout et C. Côté. 2024. Recyclage de la litière en production laitière : conditions optimales de traitement pour le contrôle des agents pathogènes. Rapport final. IRDA et partenaires. 56 pages et annexes.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

# TABLE DES MATIERES

1	Introduction .....	4
2	Objectifs .....	4
3	Méthodologie .....	4
3.1	<b>Volet 1 - Caractérisation des litières séparées et traitées en entreprises</b> .....	4
3.1.1	Description des entreprises .....	4
3.1.2	Échantillonnages .....	6
3.1.3	Paramètres mesurés .....	7
3.2	<b>Volet 2 - Essais en conditions contrôlées</b> .....	9
3.2.1	Volet 2a - Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises .....	9
3.2.2	Volet 2b - Impact des conditions de compostage en biodigesteurs expérimentaux sur le devenir des microorganismes .....	9
4	Résultats .....	11
4.1	<b>Volet 1 – Caractérisation des litières séparées et traitées en entreprises</b> .....	12
4.1.1	Ferme A .....	12
4.1.2	Ferme B .....	17
4.1.3	Ferme C .....	22
4.2	<b>Volet 2a - Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises</b> .....	28
4.2.1	Mélange de souches bactériennes servant à la contamination artificielle .....	28
4.2.2	Ferme A .....	29
4.2.3	Ferme B .....	31
4.2.4	Ferme C .....	33
4.2.5	Témoin ripe de bois .....	35
4.3	<b>Volet 2b – Impact des conditions de compostage en biodigesteurs expérimentaux sur le devenir des microorganismes</b> .....	37
4.3.1	Relevé des conditions de compostage en laboratoire .....	37
4.3.2	Mélanges de souches bactériennes servant à la contamination .....	40
4.3.3	Traitement 1 jour à 0.1 LPM .....	42
4.3.4	Traitement 1 jour à 0.5 LPM .....	43
4.3.5	Traitement 3 jours à 0.1 LPM .....	45
4.3.6	Traitement 3 jours à 0.5 LPM .....	46
4.3.7	Matières sèches, azote total et pH .....	47
4.4	<b>Volet 2c – Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières traitées en biodigesteurs expérimentaux suite à une contamination artificielle</b> .....	49
5	Conclusion .....	52

**Annexe 1.** Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises – Ferme A

**Annexe 2.** Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises – Ferme B

**Annexe 3.** Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises – Ferme C

**Annexe 4.** Potentiel de recroissance des microorganismes dans la litière témoin – Ripe de bois

**Annexe 5.** Impact des conditions de compostage en biodigesteurs expérimentaux sur le devenir des microorganismes – Graphiques des populations bactériennes

**Annexe 6.** Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières compostées et contaminées artificiellement – Graphiques des populations bactériennes

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Dates des échantillonnages réalisés dans les trois entreprises laitières. ....	6
<b>Tableau 2.</b> Populations bactériennes mesurées dans les litières lors de l'échantillonnage du 27 février 2024. ....	27
<b>Tableau 3.</b> Bilan des conditions de compostage au taux d'aération de 0,1 LPM. ....	40
<b>Tableau 4.</b> Bilan des conditions de compostage au taux d'aération de 0,5 LPM. ....	40

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Réserve (image 1) et séparateur (image 2) à la ferme A. ....	5
<b>Figure 2.</b> Amas de litière entreposée (image 1) et séparateur (image 2) à la ferme B. ....	5
<b>Figure 3.</b> Composteur (image 1) et réserve pour entreposage de la litière traitée (image 2) à la ferme C. ....	6
<b>Figure 4.</b> Biodigesteurs expérimentaux utilisés pour composter la litière en conditions contrôlées. ....	10
<b>Figure 5.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	12
<b>Figure 6.</b> Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	13
<b>Figure 7.</b> Populations de <i>Klebsiella</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	13
<b>Figure 8.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	14
<b>Figure 9.</b> Populations de <i>Streptococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	14
<b>Figure 10.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 1 jour de compostage selon la date d'échantillonnage à la ferme A. Note : les températures n'ont pas été prises dans cette section en juin 2023. ....	15
<b>Figure 11.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 2 jours de compostage selon la date d'échantillonnage à la ferme A. Note : les températures n'ont pas été prises dans cette section en juin 2023. ....	15
<b>Figure 12.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 3 jours de compostage selon la date d'échantillonnage de la ferme A. ....	16
<b>Figure 13.</b> Taux de matières sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A. ....	16
<b>Figure 14.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	18
<b>Figure 15.</b> Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage de la ferme B. ....	18
<b>Figure 16.</b> Populations de <i>Klebsiella</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	19
<b>Figure 17.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	19
<b>Figure 18.</b> Populations de <i>Streptococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	20
<b>Figure 19.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 1 jour selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	20
<b>Figure 20.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 2 jours selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	21
<b>Figure 21.</b> Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 3 jours selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	21
<b>Figure 22.</b> Taux de matières sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B. ....	22
<b>Figure 23.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	23
<b>Figure 24.</b> Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	23
<b>Figure 25.</b> Populations de <i>Klebsiella</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	24
<b>Figure 26.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	24
<b>Figure 27.</b> Populations de <i>Streptococcus</i> spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	25
<b>Figure 28.</b> Taux de matière sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C. ....	25
<b>Figure 29.</b> Relevé des températures dans les 3 jours précédant l'échantillonnage du 2 février 2023 à la ferme C. ....	26
<b>Figure 30.</b> Relevé des températures dans les 3 jours précédant l'échantillonnage du 27 février 2024 à la ferme C. ....	27

<b>Figure 31.</b> Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2023. ....	28
<b>Figure 32.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	29
<b>Figure 33.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	30
<b>Figure 34.</b> Populations de <i>Staphylococcus aureus</i> dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.....	30
<b>Figure 35.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	31
<b>Figure 36.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	32
<b>Figure 37.</b> Populations de <i>Streptococcus</i> spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.....	32
<b>Figure 38.</b> Populations de <i>Staphylococcus aureus</i> dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.....	33
<b>Figure 39.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	34
<b>Figure 40.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	34
<b>Figure 41.</b> Populations de <i>Streptococcus agalactiae</i> dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.....	35
<b>Figure 42.</b> Populations d' <i>E. coli</i> dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	36
<b>Figure 43.</b> Populations de <i>Staphylococcus</i> spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	36
<b>Figure 44.</b> Populations de <i>Streptococcus</i> spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. ....	37
<b>Figure 45.</b> Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant un jour de compostage selon le taux d'aération en 2023. ....	38
<b>Figure 46.</b> Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant un jour de compostage selon le taux d'aération en 2024. ....	38
<b>Figure 47.</b> Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant trois jours de compostage selon le taux d'aération en 2023. Note. Les barres verticales représentent les périodes de 24 h. ....	39
<b>Figure 48.</b> Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant trois jours de compostage selon le taux d'aération en 2024. Note. Les barres verticales représentent les périodes de 24 h. ....	39
<b>Figure 49.</b> Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2023. ....	41
<b>Figure 50.</b> Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2024. ....	41
<b>Figure 51.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>E. coli</i> et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). ....	42
<b>Figure 52.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Staphylococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). ....	43
<b>Figure 53.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>E. coli</i> et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). ....	44
<b>Figure 54.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Staphylococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). ....	44

<b>Figure 55.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>E. coli</i> et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.....	45
<b>Figure 56.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>E. coli</i> et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.....	46
<b>Figure 57.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>E. coli</i> et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	47
<b>Figure 58.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur le taux de matières sèches selon le temps de séjour et le taux de ventilation. ....	48
<b>Figure 59.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur l'azote total selon le temps de séjour et le taux de ventilation. ....	48
<b>Figure 60.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur le pH selon le temps de séjour et le taux de ventilation. ....	49
<b>Figure 61.</b> Devenir des populations d' <i>E. coli</i> dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 1 jour à 0.1 LPM).....	50
<b>Figure 62.</b> Devenir des populations d' <i>E. coli</i> dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 1 jour à 0.5 LPM).....	50
<b>Figure 63.</b> Devenir des populations d' <i>E. coli</i> dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 3 jours à 0.1 LPM). ....	51
<b>Figure 64.</b> Devenir des populations d' <i>E. coli</i> dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 3 jours à 0.5 LPM). ....	51

# 1 INTRODUCTION

Le recyclage de la litière est une pratique relativement répandue en production laitière qui consiste à réintroduire à titre de litière la fraction solide issue de la séparation des déjections des vaches. La présence de microorganismes potentiellement pathogènes dans ce type de litière est le principal enjeu auquel font face les producteurs laitiers qui ont adopté cette pratique. En effet, il est reconnu que le traitement de la phase solide séparée permette de réduire les populations d'agents pathogènes avant sa réintroduction sous les animaux, mais les conditions optimales de traitement sont méconnues. L'efficacité du traitement dépend en effet de plusieurs facteurs incluant la température, le temps de rétention et la teneur en eau du produit. La détermination des conditions optimales pour un meilleur contrôle des microorganismes potentiellement pathogènes permettra non seulement un abattement optimal des bactéries. Le traitement peut aussi avoir un effet sur le potentiel de recroissance des microorganismes lorsque la litière est recontaminée par des matières fécales fraîches.

## 2 OBJECTIFS

Ce projet vise à évaluer différentes approches de traitement de la litière afin de minimiser les risques sanitaires pour l'élevage et ainsi maintenir la productivité du troupeau. Il inclut deux principaux objectifs, soit :

- Préciser l'effet de différentes conditions de traitement de la litière sur les populations de microorganismes potentiellement pathogènes;
- Mesurer le potentiel de recroissance des microorganismes potentiellement pathogènes sur la litière traitée.

Outre la compilation et l'interprétation des résultats menant à la rédaction de ce rapport, les objectifs ont été réalisés selon les trois volets et échéanciers suivants :

- Volet 1A. Préciser l'effet de différentes conditions de traitement de la litière sur les populations de microorganismes potentiellement pathogènes- volet en entreprise laitière – **Décembre 2022 à février 2024**
- Volet 1B. Préciser l'effet de différentes conditions de traitement de la litière sur les populations de microorganismes potentiellement pathogènes- volet en bioréacteurs expérimentaux – **Mars 2023 à mars 2024**
- Volet 2. Mesurer le potentiel de recroissance des MPP sur la litière traitée – **Mars 2023 à mars 2024**

## 3 MÉTHODOLOGIE

### 3.1 VOLET 1 - CARACTÉRISATION DES LITIÈRES SÉPARÉES ET TRAITÉES EN ENTREPRISES

#### 3.1.1 Description des entreprises

##### Ferme A

La ferme A se situe en Montérégie (Qc). Il y a 64 vaches en production qui sont placées dans des logettes profondes, en stabulation libre. La litière est ajoutée tous les jours, une fois par jour au matin. Pour produire la litière, les producteurs utilisent un séparateur à vis pour ensuite amener la litière dans une réserve avec un convoyeur. La litière y reste trois jours avec une température oscillant entre 65 et 80 °C avant d'être distribuée dans les logettes.



Figure 1. Réserve (image 1) et séparateur (image 2) à la ferme A.

### Ferme B

La ferme B se situe dans Lanaudière (Qc). Un total de 100 vaches sont en production, placées dans des logettes profondes, en stabulation libre. La litière est ajoutée une fois par jour à la suite du nettoyage en surface. Après le passage au séparateur à vis, la litière est déposée en amas pour une période de 3 jours. Cette litière est ensuite entreposée jusqu'au moment de sa distribution dans les heures suivantes.



Figure 2. Amas de litière entreposée (image 1) et séparateur (image 2) à la ferme B.

### Ferme C

La ferme C se situe dans Lanaudière (Qc). Cette ferme possède 130 vaches en production, placées dans des logettes profondes, en stabulation libre. La litière est ajoutée 2 à 3 fois par jour, puisque la méthode de séparation et de traitement de la litière est en continu. À la suite du séparateur à vis, la litière est acheminée à un composteur et y demeure pendant

12 heures, pour atteindre une température cible de 72°C maintenue pendant 1 heure. À la fin du cycle, la litière quitte le composteur pour être entreposée quelques heures jusqu'au moment de sa distribution.



Figure 3. Composteur (image 1) et réserve pour entreposage de la litière traitée (image 2) à la ferme C.

### 3.1.2 Échantillonnages

Entre décembre 2022 et février 2024, onze campagnes d'échantillonnage ont eu lieu dans les trois fermes. Le Tableau 1 présente les dates spécifiques à chaque entreprise.

Tableau 1. Dates des échantillonnages réalisés dans les trois entreprises laitières.

Date d'échantillonnage	Ferme A	Ferme B	Ferme C
2022-12-12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2022-12-13	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-01-09	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-01-17	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-02-07	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-03-09	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-04-11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-04-12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-05-01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-05-02	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-06-07	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-06-08	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-07-17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-07-18	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-09-19	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2023-10-16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2023-10-17	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2024-02-06	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2024-02-07	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2024-02-27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

À chaque visite, des échantillons de litière séparée et de litière traitée ont été prélevés. La litière séparée a été prélevée de la même manière dans les trois entreprises, en effectuant 10 prélèvements de matériel sortant du séparateur de manière aseptique et déposés dans un sac stérile et homogénéisés.

La litière traitée de la ferme A a été échantillonnée dans la dernière section de la réserve, soit après trois jours d'entreposage. L'échantillon était composé de neuf prélèvements, soit à trois endroits de l'amas (2 côtés et au centre) et à trois profondeurs (12, 24 et 36 pouces). En plus d'un échantillon de litière, la température était mesurée aux neufs sites de prélèvements. Il est à noter que la température a également été mesurée dans les sections précédentes, correspondant à un jour et deux jours d'entreposage.

À la ferme B, l'échantillon de litière traitée était prélevé dans l'amas qui était entreposé depuis trois jours. L'échantillon était également composé de neuf prélèvements, soit trois endroits à trois profondeurs, tel que pour la ferme A. La température a également été mesurée dans les trois amas et ce, à neuf emplacements.

À la ferme C, la litière traitée a été prélevée à la sortie du composteur, avant que la litière ne touche au convoyeur afin d'éviter toute contamination croisée avec les équipements. L'échantillon était composé de 10 sous-échantillons homogénéisés dans un sac stérile.

Tous les échantillons ont été prélevés dans des sacs stériles et maintenus au frais jusqu'aux analyses, réalisées dans un délai maximum de 48 heures au Laboratoire d'hygiène de l'environnement agricole de l'IRDA à St-Bruno-de-Montarville. Les prochaines sections détaillent les protocoles utilisés selon les microorganismes visés.

### 3.1.3 Paramètres mesurés

Au laboratoire et en conditions aseptiques, 25 g  $\pm$  0.5 g de chaque échantillon ont été placés dans un sac stérile avec filtre, dans lequel 225 ml d'eau peptonée 0.1% ont été ajoutés. Après avoir bien homogénéisé l'échantillon en brassant vigoureusement, le pH a été mesuré avec une bandelette rapide pour pH (voir sous-section 3.1.3.7). Par la suite, des dilutions 1 :10 en série ont été réalisées, en ajoutant 1 ml de la dilution précédente dans 9 ml d'eau peptonée 0.1%. Chaque dilution a ensuite été inoculée sur différents milieux de culture, tel que décrit dans les prochaines sections. En parallèle, le taux de matière sèche de chaque échantillon a également été mesuré (voir sous-section 3.1.3.6), ainsi que les microorganismes présentés ci-après.

#### 3.1.3.1 *E. coli* et coliformes totaux

Les populations d'*E. coli* et de coliformes totaux ont été dénombrées en utilisant les géloses 3M™ Petrifilm pour *E. coli*, en se basant sur la méthode MFHBP-34 de Santé Canada, ainsi que la procédure proposée par le fabricant. En bref, à l'aide de la pipette électronique, 1 ml de chaque dilution a été déposé au centre de la gélose. Après avoir rabattu délicatement le film supérieur en évitant la formation de bulles d'air, les géloses ont été incubées vers le haut à 35 °C  $\pm$  1 °C pendant 48 heures  $\pm$  2 heures. Ensuite, les colonies bleues à rouge-bleu associées à des bulles de gaz, indépendamment de la taille ou de l'intensité de la couleur, ont été comptées comme des bactéries *E. coli*. Les colonies rouges associées à des bulles de gaz ont été dénombrées en tant que coliformes totaux.

Pour calculer le nombre de colonies d'*E. coli* ainsi que le nombre de colonies de coliformes totaux par grammes d'échantillon, il faut choisir la dilution dont le dénombrement se situe entre 15 et 150 colonies. S'il n'y avait pas de plaques dans cette gamme, les plaques ayant entre 1 et 14 colonies ont été utilisées. La limite de détection théorique de la méthode est de 1 UFC/g.

#### 3.1.3.2 *Klebsiella* spp.

Les populations de *Klebsiella* spp. ont été dénombrées en utilisant le milieu mFC modifié pour *Klebsiella* (MilliporeSigma), selon les instructions du fabricant. En bref, à l'aide d'une pipette de 200  $\mu$ l, 50  $\mu$ l de chaque dilution ont été inoculés

au centre de la gélose. À l'aide d'une spatule d'inoculation, le liquide a été étalé sur toute la surface de la gélose de haut en bas en 4 étapes. Après un maximum de 15 minutes de repos, les géloses ont été incubées à  $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 24 heures  $\pm 2$  heures en les mettant sur un plateau perforé d'incubation. Suivant ce délai, les dilutions présentant entre 30 et 300 colonies ont été dénombrées en priorité. Si aucune gélose n'était dans cette gamme, celles ayant entre 1 et 29 colonies ont été utilisées pour le calcul des populations. Les colonies bleues à bleu-gris ont été dénombrées comme étant des *Klebsiella* spp. La limite de détection théorique de la méthode est de 200 UFC/g.

### 3.1.3.3 *Staphylococcus* spp. et *Staphylococcus aureus*

Les populations de *Staphylococcus* spp. ont été dénombrées en utilisant le milieu RAPID'Staph (Bio-Rad), selon les instructions du fabricant. La même séquence d'inoculation que pour *Klebsiella* spp. a été réalisée, en inoculant les géloses avec 50  $\mu\text{l}$ . Suite au temps de repos des géloses, une incubation à  $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 24 heures  $\pm 2$  heures a été réalisée. Sur le milieu RAPID'Staph, les *Staphylococcus* spp. apparaissent comme des colonies grise-noires sans halo.

La quantification des *S. aureus* a été rendue possible en utilisant le milieu HardyCHROM Staph aureus (Innovation diagnostics), selon les instructions du fabricant. Les géloses ont été incubées à  $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 24-28 heures  $\pm 2$  heures en les mettant sur un plateau perforé d'incubation. Ensuite, les colonies roses à fuchsia ont été considérées comme des *Staphylococcus aureus*. La limite de détection théorique de la méthode est de 200 UFC/g pour chacun des microorganismes.

### 3.1.3.4 *Streptococcus* spp. et *Streptococcus agalactiae*

Le milieu Edwards modifié (OXOID) a été utilisé pour le dénombrement des *Streptococcus* spp. et des *Streptococcus agalactiae*, selon les instructions du fabricant. Chaque gélose associée à une dilution spécifique a été inoculée avec 50  $\mu\text{l}$  d'échantillon et incubée à  $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 24 heures  $\pm 2$  heures. Après ce délai, les *Streptococcus* spp. apparaissent comme de petites colonies bleu-noires sans zone d'hémolyse, alors que les *Streptococcus agalactiae* apparaissent comme des petites colonies bleu pâle avec la présence de zone d'hémolyse, provoquant un halo translucide autour de la colonie. La sélection des géloses pour le calcul des populations, ainsi que la limite de détection théorique de la méthode sont les mêmes que pour les microorganismes précédents.

### 3.1.3.5 *Salmonella* spp.

Les populations de *Salmonella* spp. ont été dénombrées selon le même protocole que les autres microorganismes, à la différence que le milieu COMPASS Salmonella (Innovation diagnostics) a été utilisé, selon les instructions du fabricant. Après inoculation des 50  $\mu\text{l}$  par gélose, une incubation à  $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 24 heures  $\pm 3$  heures a été réalisée. Suivant ce délai, les colonies de couleur magenta ont été considérées comme des salmonelles. La limite de détection théorique de la méthode est de 200 UFC/g.

### 3.1.3.6 Taux de matières sèches

Pour chaque échantillon brut, 30 grammes ont été pesés dans une assiette d'aluminium. Les échantillons ont été placés à l'étuve pendant toute la nuit à  $105,0\text{ °C}$ , avant d'être pesés à nouveau à chaque jour et ce, jusqu'à ce que la masse demeure stable durant trois jours consécutifs. Le taux de matières sèches a été calculé en divisant la masse finale sur la masse initiale de l'échantillon, et en multipliant par 100.

### 3.1.3.7 pH

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon en brassant vigoureusement, le pH a été mesuré avec une bandelette rapide pour pH (VWR), selon les instructions du fabricant. Le pH de l'échantillon doit être compris entre 6,6 et 7,2 pour fins d'analyses microbiologiques. Le cas échéant, celui-ci a été ajusté au compte-gouttes avec une solution de HCl 1N ou de NaOH 1N. Après homogénéisation, le pH a été repris à nouveau avant de procéder aux analyses.

## 3.2 VOLET 2 - ESSAIS EN CONDITIONS CONTRÔLÉES

Des essais en conditions contrôlées ont eu lieu au laboratoire de l'IRDA en mars 2023 et février 2024. Ces essais avaient pour but, d'une part, d'évaluer le potentiel de recroissance des microorganismes dans des échantillons de litière traitée prélevée dans les entreprises laitières à l'étude ainsi que dans une litière témoin de ripe de bois. En second lieu, des essais sur l'impact de différentes conditions de compostage ont eu lieu en utilisant la litière séparée de la ferme A. Les prochaines sections décrivent respectivement ces deux objectifs.

### 3.2.1 Volet 2a - Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières prélevées en entreprises

Les échantillons de litières traitées prélevées dans les trois fermes les 9 et 10 mars 2023, ainsi que celles prélevées le 27 février 2024 ont servi à réaliser cet objectif. La litière témoin de ripe de bois a été échantillonnée dans une ferme laitière de la Montérégie, dans la litière traitée avant qu'elle ne soit mise sous les vaches. Des échantillons de 25 g de chaque litière ont été mis à incuber durant trois jours à 15 °C, afin de mesurer le potentielle de recroissance naturelle des microorganismes présents dans la litière. La température de 15 °C a été choisie, puisqu'elle correspond à la température moyenne annuelle dans une étable.

En parallèle, des échantillons de 25 g ont été inoculés artificiellement avec un mélange des bactéries à l'étude, de façon à simuler une contamination par les matières fécales des vaches sur la litière. Le mélange de souches bactériennes était fait à partir de souches isolées d'échantillons de litières, ainsi que de souches provenant de fumiers de bovins isolées dans le cadre de projets de recherche antérieurs. Enfin, une souche contrôle ATCC a été ajoutée au mélange pour chaque microorganisme. Le niveau de contamination bactérienne visée était basée sur les résultats issus de la caractérisation dans les entreprises pour la litière non-traitée, soit 1 million d'UFC/g pour chaque type de bactérie. Ces échantillons ont également été mis à incuber durant trois jours à 15 °C.

À tous les jours, des échantillons étaient analysés pour chaque type de litières (3 fermes et ripe de bois; inoculées ou non) en utilisant les mêmes méthodes que décrites précédemment.

### 3.2.2 Volet 2b - Impact des conditions de compostage en biodigesteurs expérimentaux sur le devenir des microorganismes

En mars 2023 et février 2024, des essais de compostage ont été réalisés au laboratoire, où deux temps de séjour et deux taux de ventilation ont été évalués. La litière séparée de la ferme A a été privilégiée, puisque des essais préliminaires au laboratoire avaient démontré la performance de celle-ci à atteindre les températures ciblées dans les délais évalués et ce, de façon répétée.

Des biodigesteurs expérimentaux ont donc été développés par l'équipe de l'IRDA. En bref, des chaudières de 25 litres ont été percées à la base et connectées par des tuyaux de plastique (de façon indépendante) à un débitmètre lui-même connecté à une pompe. Les couvercles étaient également percés afin de maintenir le bon débit d'air et de faire sortir la condensation. Les chaudières étaient entourées de laine minérale et d'un isolant en styromousse afin de réduire au minimum les pertes de chaleur. Chaque biodigester était aussi muni d'une sonde de température connectée à un acquiiseur de données CR10X (Campbell Scientific). La température était mesurée aux 5 minutes. La Figure 4 présente la photo du dispositif au laboratoire.



**Figure 4.** Biodigesteurs expérimentaux utilisés pour composter la litière en conditions contrôlées.

Les conditions de compostage suivantes ont été évaluées, à raison de deux biodigesteurs par traitement, pour un total de huit unités expérimentales :

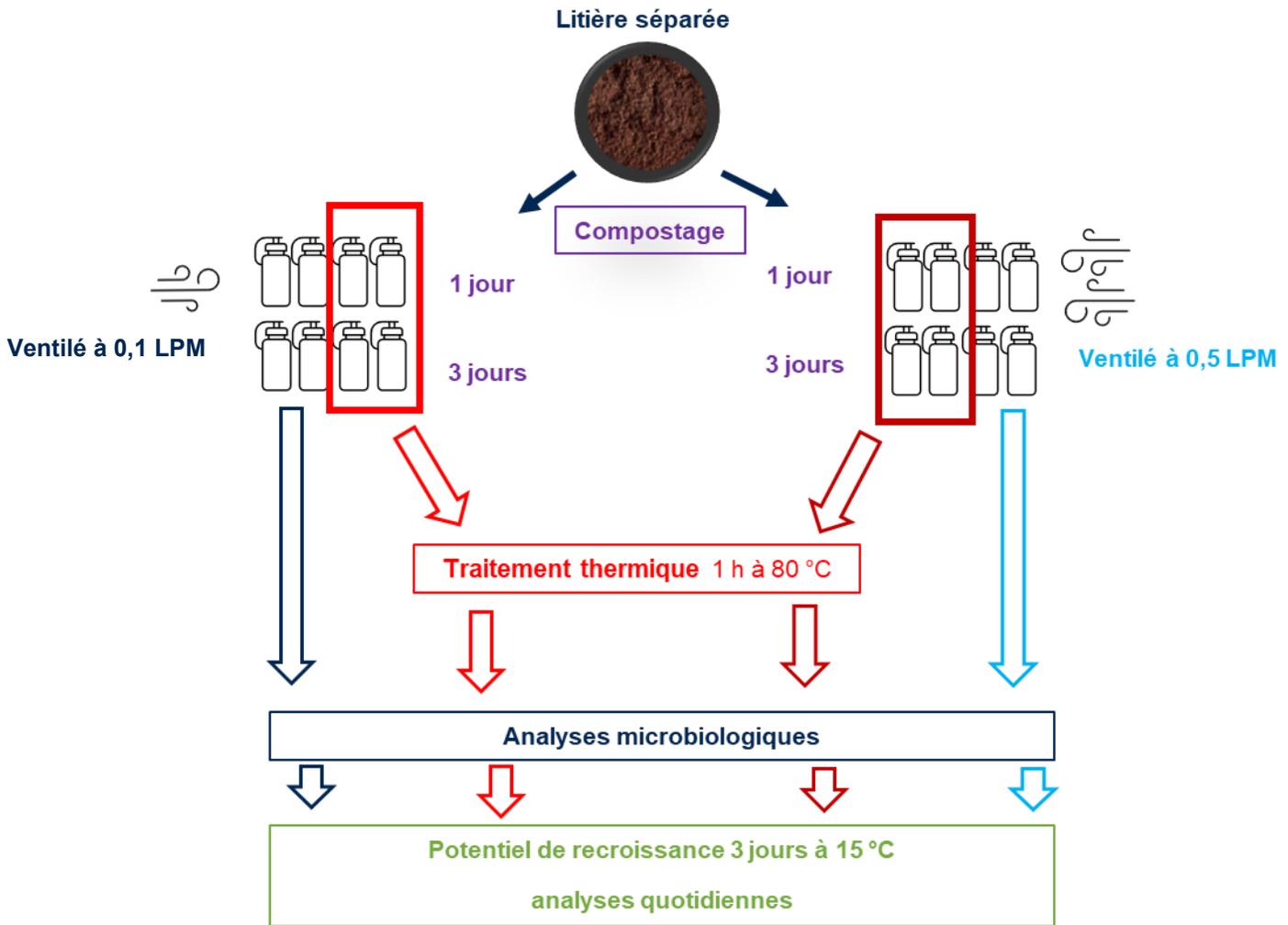
- 1- Durée de compostage :
  - a. 1 jour
  - b. 3 jours
- 2- Taux de ventilation
  - a. 0.1 litre par minute (LPM)
  - b. 0.5 LPM

Ces traitements ont été choisis suite à de multiples essais préliminaires avec des taux de ventilation et mélanges de litières différents, dans le but de cibler des conditions où des températures de 55 °C et 70 °C étaient atteintes de façon uniforme et répétée. Ces seuils de température représentent ce qui est normalement retrouvé dans la phase thermophile du processus de compostage et permettent d'assainir en partie le matériel.

Suite au compostage, un post-traitement thermique a été appliqué sur la litière issue de la moitié des biodigesteurs, soit à 80 °C durant une heure.

Des échantillons ont été prélevés dans les huit biodigesteurs avant le compostage, après le compostage, et après le traitement thermique pour fins d'analyses microbiologiques telles que décrites précédemment.

Suivant la phase de compostage, des échantillons issus de chaque traitement ont été mis en incubation à 15 °C durant trois jours, afin de mesurer le potentiel de recroissance naturelle des microorganismes selon les conditions de traitement de la litière. La résilience des litières a également été évaluée sur trois jours à 15 °C suivant une inoculation artificielle par le mélange de bactéries. Ainsi, le même protocole qu'à la section précédente (3.2.1) a été réalisé. La Figure 5 présente le schéma de la démarche réalisée.



**Figure 5.** Schéma de la démarche réalisée pour évaluer l'impact des conditions de compostage sur le contrôle des microorganismes en conditions contrôlées.

## 4 RÉSULTATS

### 4.1 VOLET 1 – CARACTÉRISATION DES LITIÈRES SÉPARÉES ET TRAITÉES EN ENTREPRISES

#### 4.1.1 Ferme A

Les populations bactériennes mesurées dans les échantillons de litière séparée et traitée sont présentées selon le microorganisme de la Figure 6 à 10. Il est à noter que toutes les populations microbiennes présentées dans ce rapport sont rapportées par gramme de litière en base sèche et ce, de façon à pouvoir comparer les échantillons.

Il est à noter que les bactéries *Salmonella* spp. et *Streptococcus agalactiae* n'ont jamais été détectées dans les échantillons. Des *Staphylococcus aureus* ont été dénombrées dans les litières séparées du 7 et 27 février 2024 avec 15 028 et 1 089 UFC/g (base sèche), respectivement. La bactérie n'a toutefois jamais été détectée dans les litières traitées.

Les Figures 11 à 13 présentent les températures mesurées dans les trois sections de la réserve, alors que la Figure 14 présente les taux de matières sèches des échantillons.

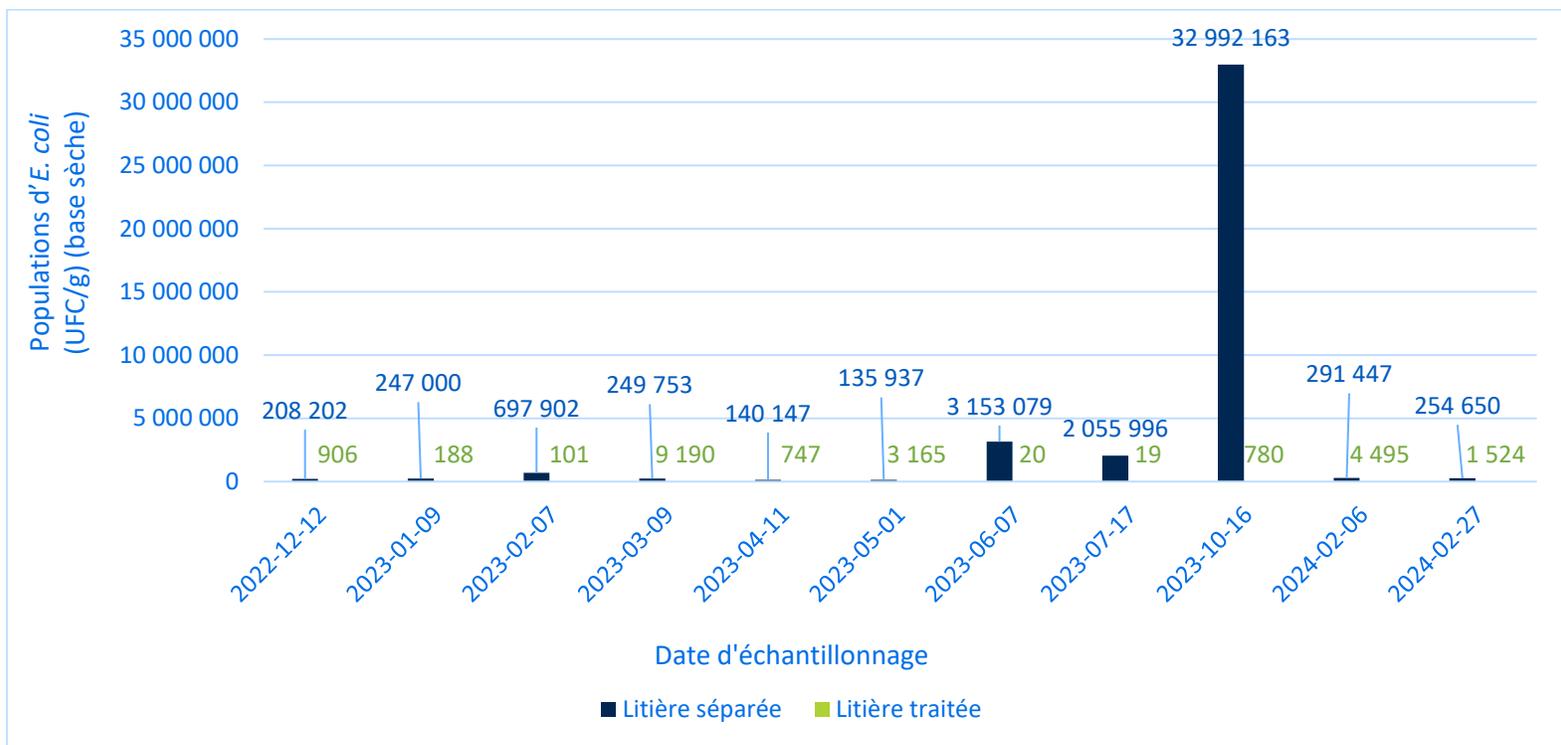


Figure 6. Populations d'*E. coli* dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.

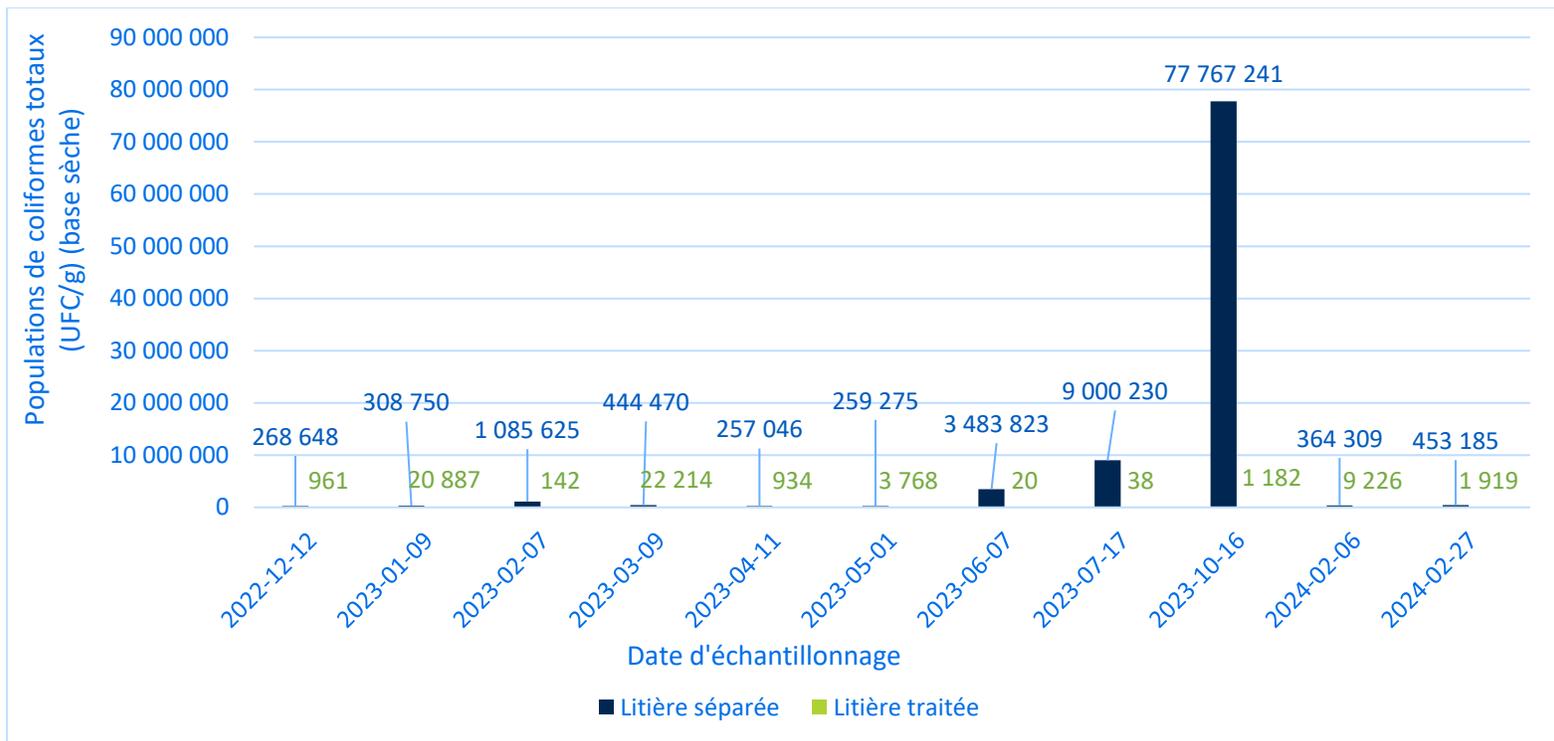


Figure 7. Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.

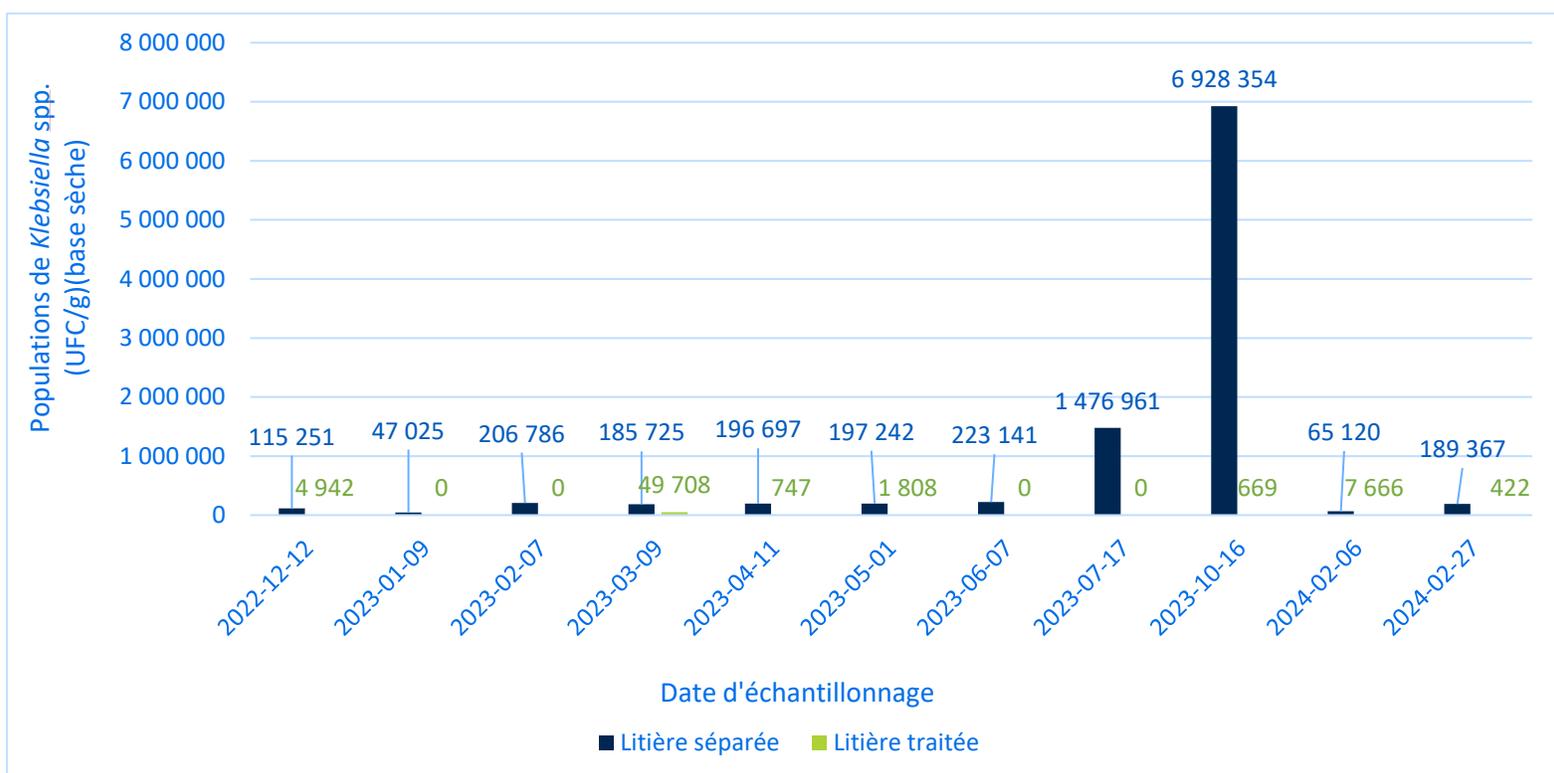


Figure 8. Populations de *Klebsiella* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.

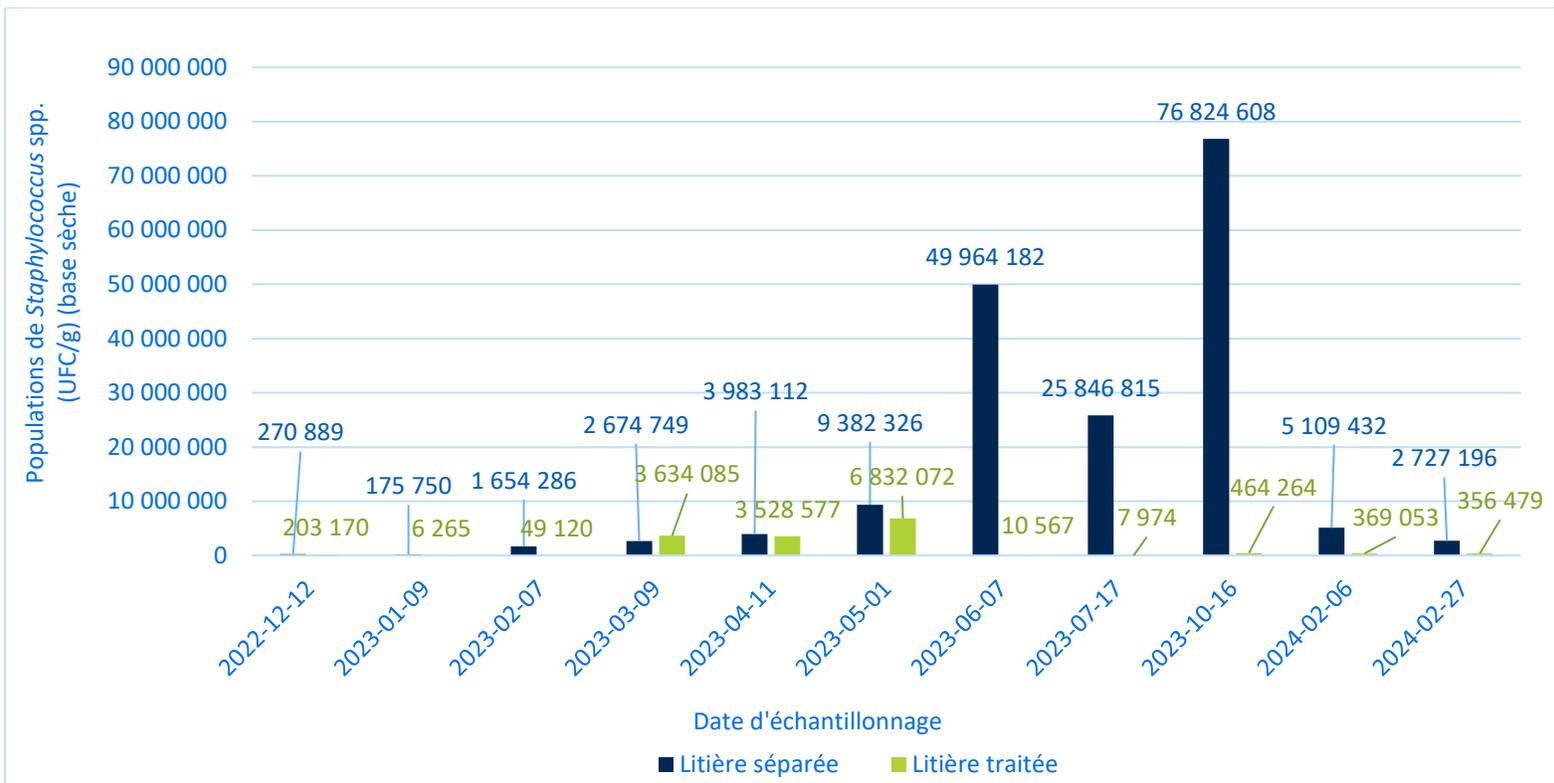


Figure 9. Populations de *Staphylococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.

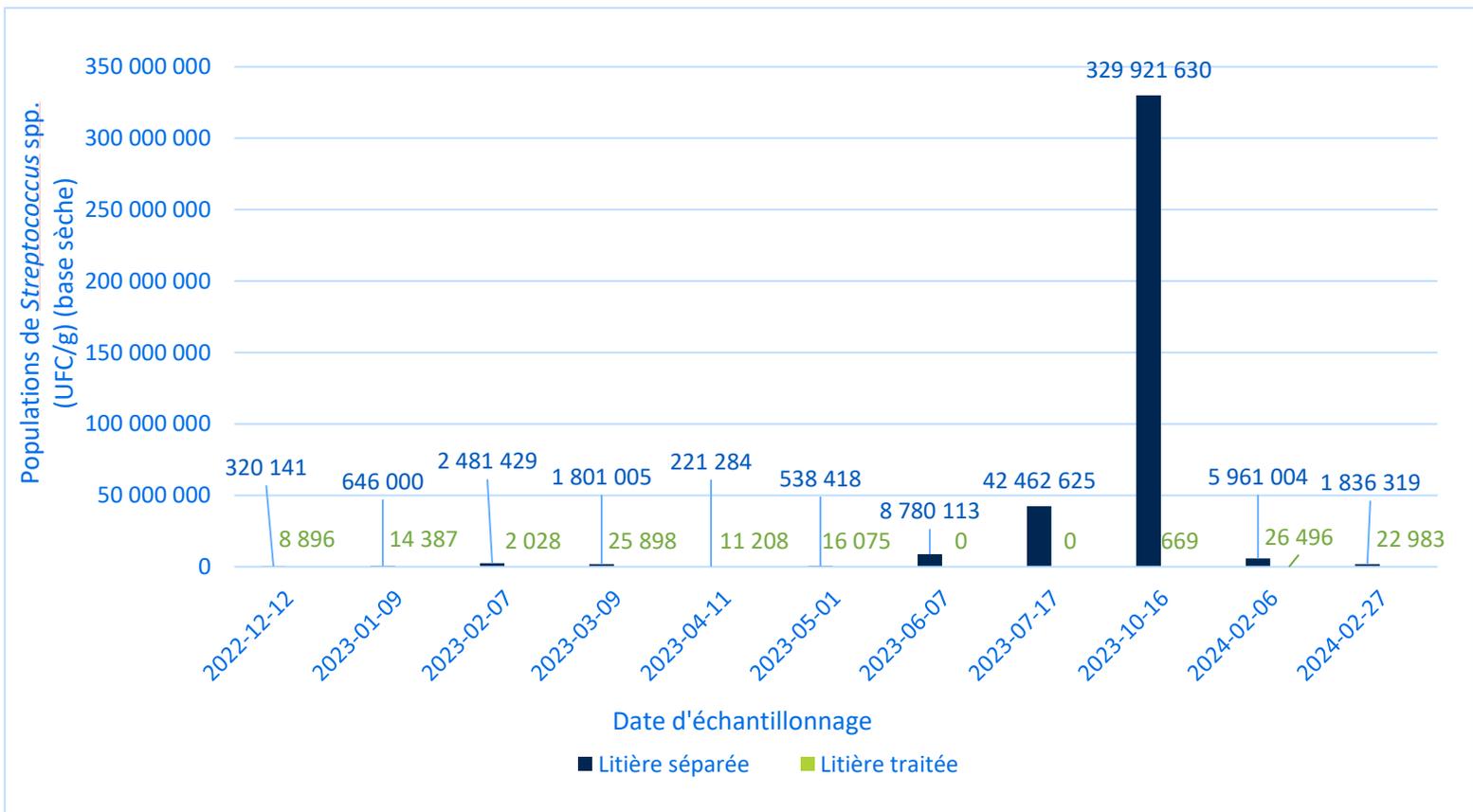
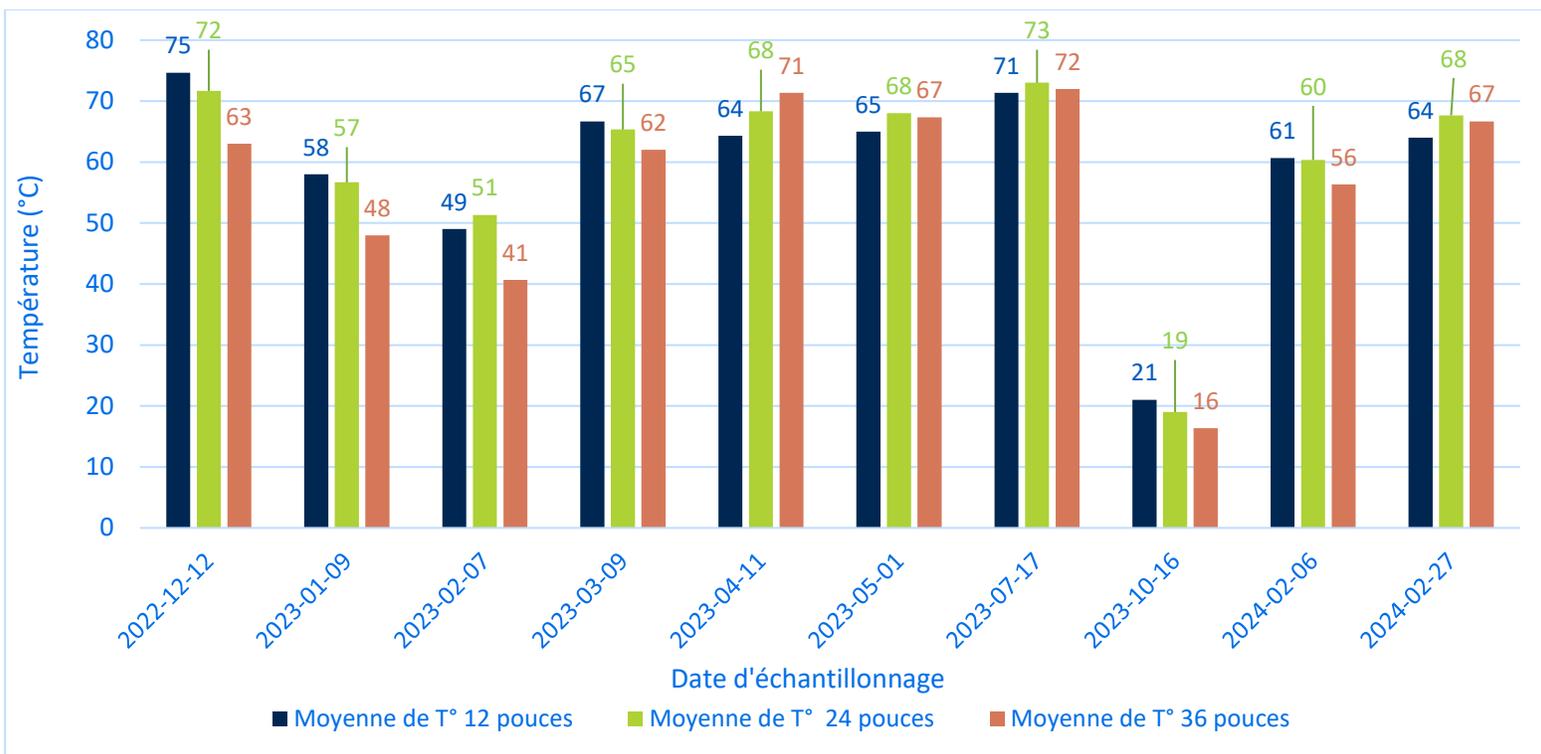
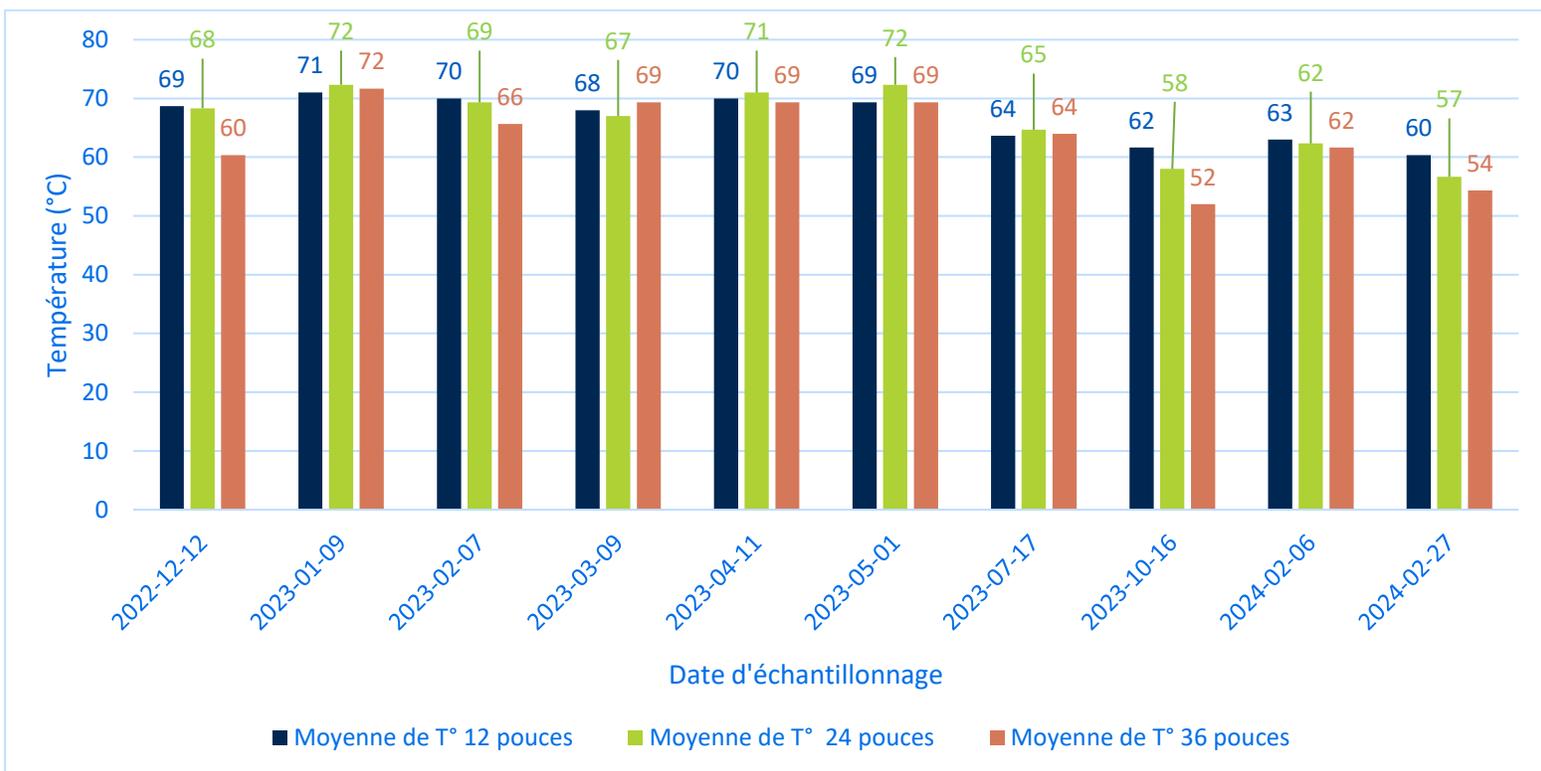


Figure 10. Populations de *Streptococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.



**Figure 11.** Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 1 jour de compostage selon la date d'échantillonnage à la ferme A. Note : les températures n'ont pas été prises dans cette section en juin 2023.



**Figure 12.** Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 2 jours de compostage selon la date d'échantillonnage à la ferme A. Note : les températures n'ont pas été prises dans cette section en juin 2023.

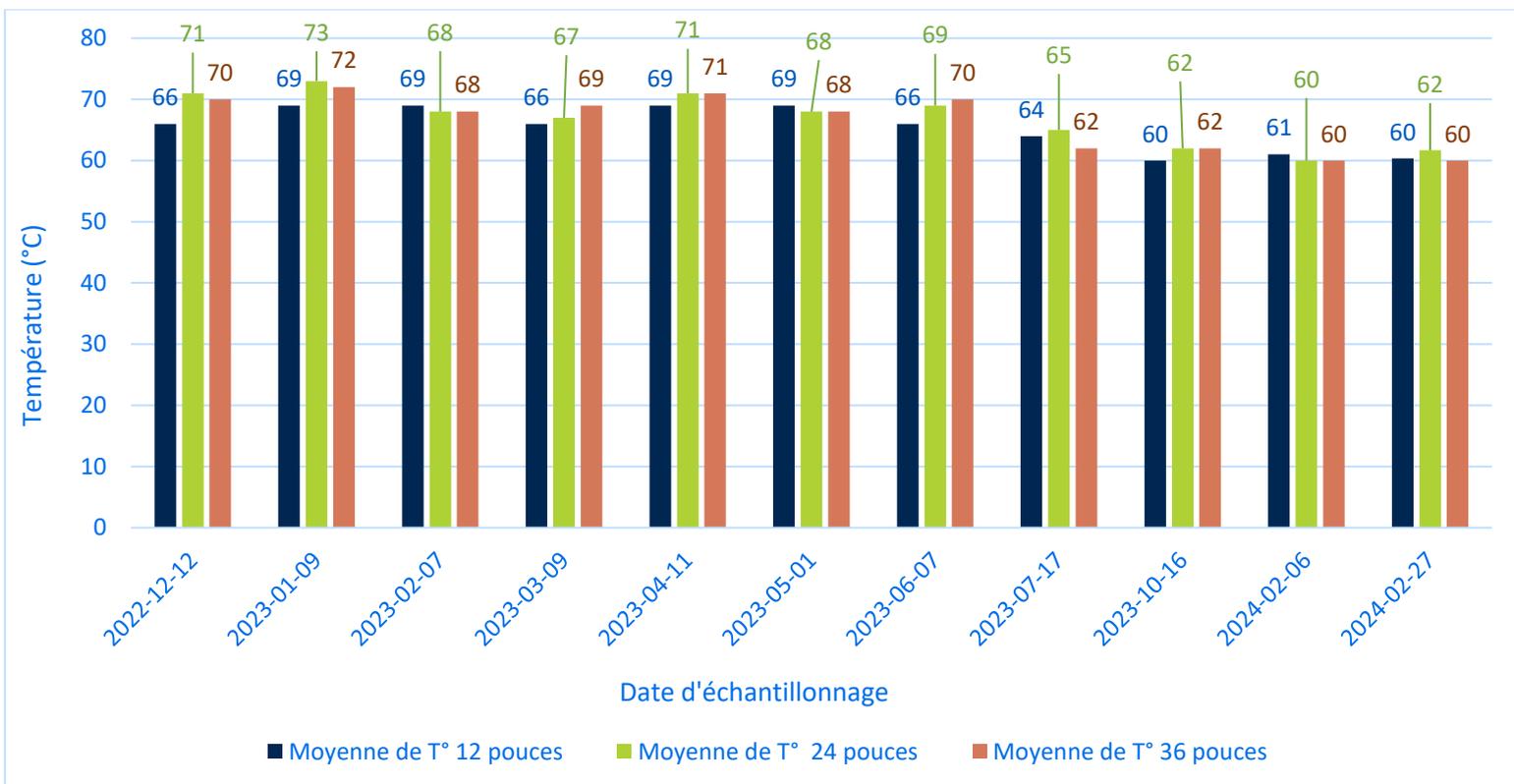


Figure 13. Températures mesurées à différentes profondeurs dans la section 3 jours de compostage selon la date d'échantillonnage de la ferme A.

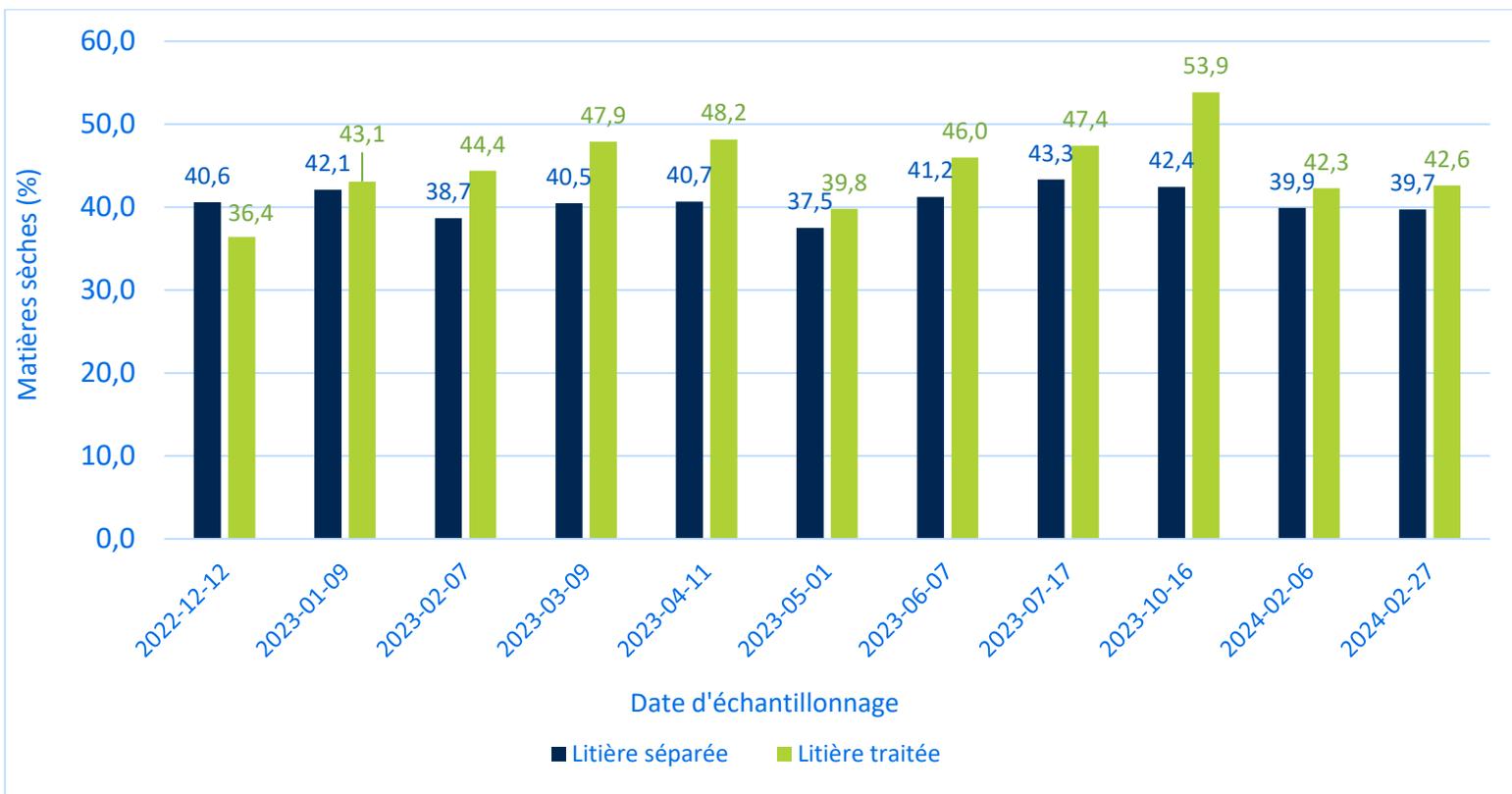


Figure 14. Taux de matières sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme A.

Outre la hausse marquée des populations bactériennes en octobre 2023, une autre hausse peut être remarquée en été, particulièrement en juin et juillet, mais ce, dans la litière séparée seulement. En effet, les populations de microorganismes dans les échantillons de litière traitée étaient à leur plus bas à ce moment de l'année. Il est possible que les températures normalement plus chaudes en été favorisent la prolifération des bactéries à l'intérieur de l'étable et se retrouvent donc en plus grand nombre dans le lisier, mais que ces mêmes températures chaudes aident à démarrer le processus de compostage. On voit d'ailleurs que les températures prises dans la section 1 jour de la réserve en juillet sont plus élevées que les autres mois (Figure 10).

Pour ce qui est du mois d'octobre, les populations de microorganismes indicateurs élevées des échantillons de litière séparée peuvent difficilement être expliqués, puisqu'aucun problème majeur n'a été noté à la ferme. Les températures prises dans la section 1 jour de la réserve à cette date sont faibles (autour de 20 °C), indiquant que le compostage n'avait pas encore commencé lors de la visite. Ceci aurait pu indiquer un problème au niveau du séparateur, notamment si celui-ci avait généré de la litière trop humide, empêchant le processus de compostage de démarrer par manque d'oxygène. Le taux de matières sèches mesuré dans cet échantillon était cependant normal, infirmant donc cette hypothèse.

De façon plus générale, le procédé de compostage sur trois jours réussissait bien à abattre les microorganismes, sauf pour les staphylocoques. Les populations étaient même presque semblables entre la litière séparée et la litière traitée lors des échantillonnages du printemps 2023 (mars-avril-mai). Une attention particulière devrait être apportée dans la gestion de cette litière dans l'étable afin de réduire au minimum les risques. Bien que les staphylocoques ne soient pas tous pathogènes, certaines espèces peuvent causer des mammites sévères.

#### 4.1.2 Ferme B

Les populations bactériennes mesurées dans les échantillons de litière séparée et traitée sont présentées selon le microorganisme de la Figure 15 à 19. Il est à noter que les bactéries pathogènes *Salmonella* spp., *Streptococcus agalactiae* et *Staphylococcus aureus* n'ont jamais été détectées dans les échantillons.

Les Figures 20 à 22 présentent les températures mesurées dans les trois sections de la réserve, alors que la Figure 23 présente les taux de matières sèches des échantillons.

Voici les dates d'échantillonnage où le plancher chauffant était en fonction dans la zone d'entreposage de la litière traitée :

- 2023-01-17
- 2023-02-07
- 2023-03-09
- 2023-04-12
- 2023-10-17
- 2024-02-07
- 2024-02-27

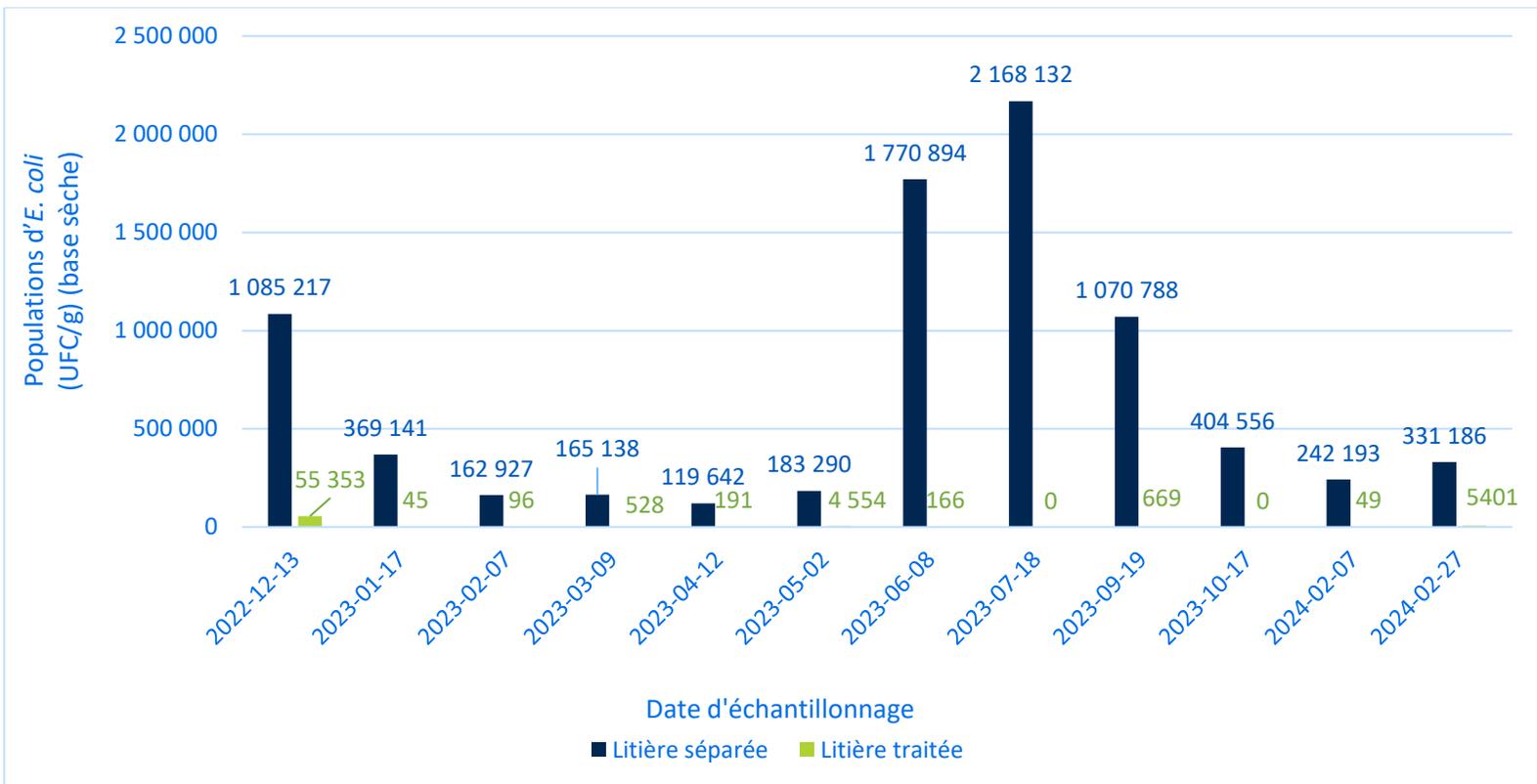


Figure 15. Populations d'*E. coli* dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

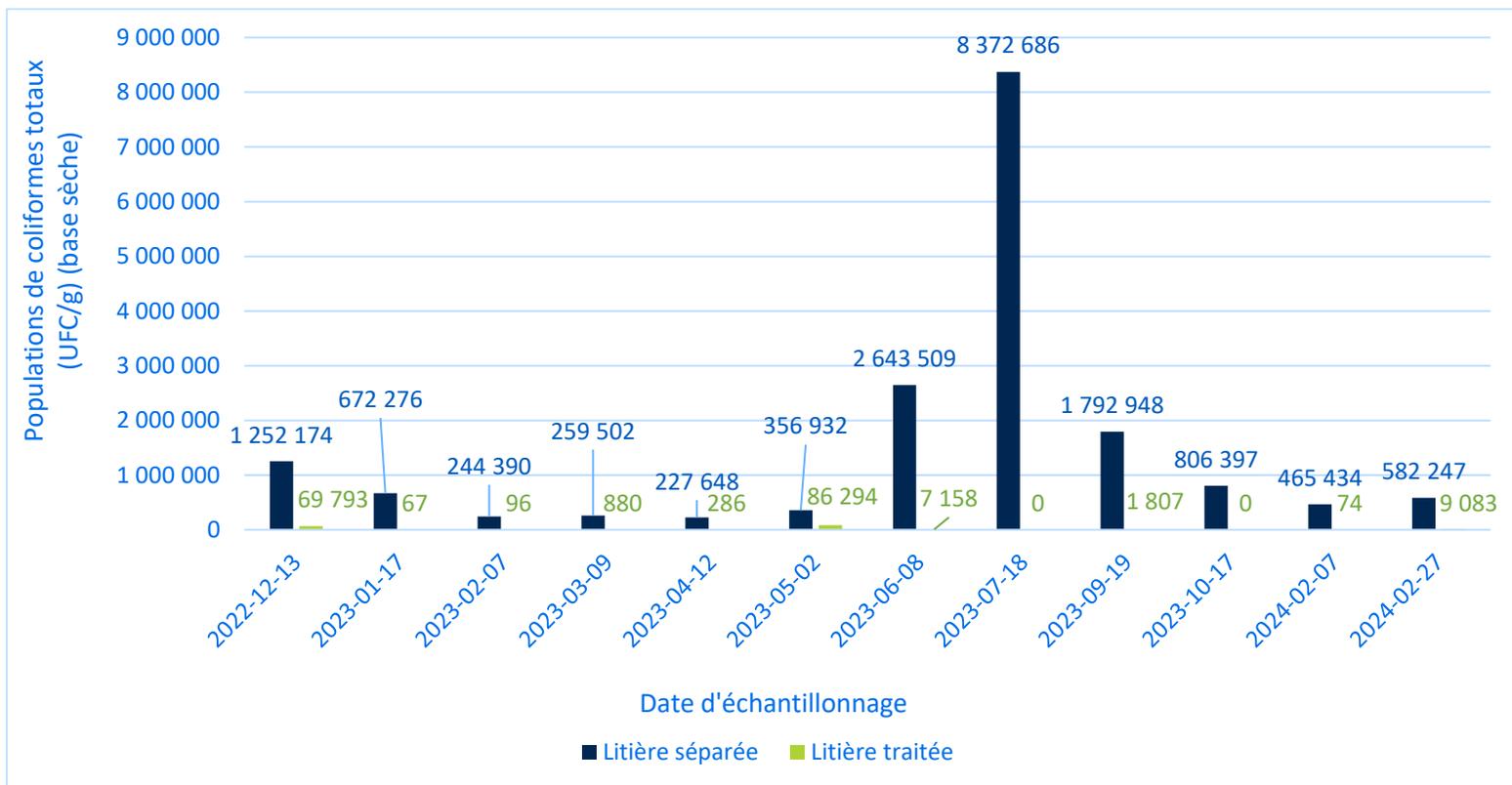


Figure 16. Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage de la ferme B.

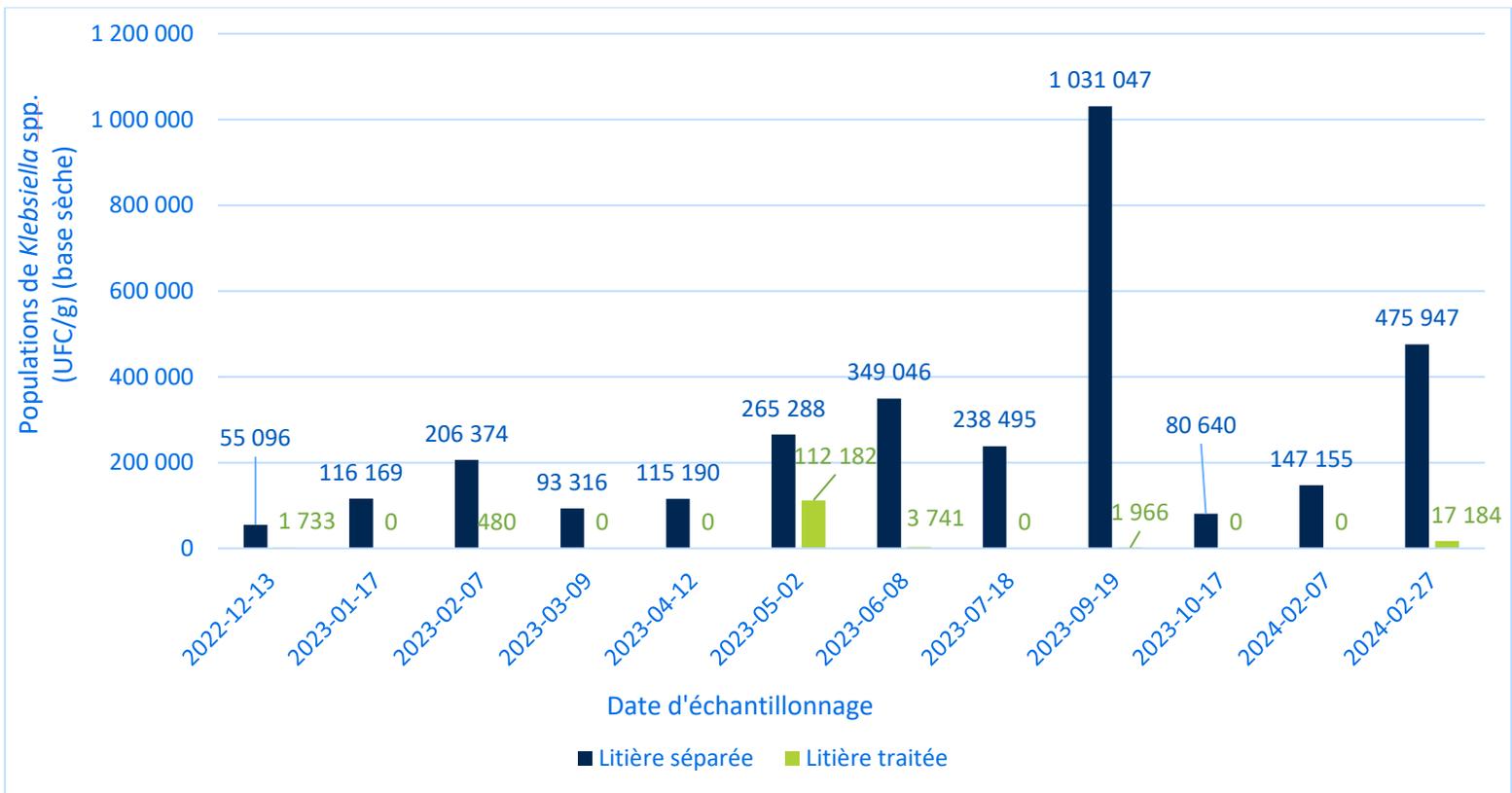


Figure 17. Populations de *Klebsiella* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

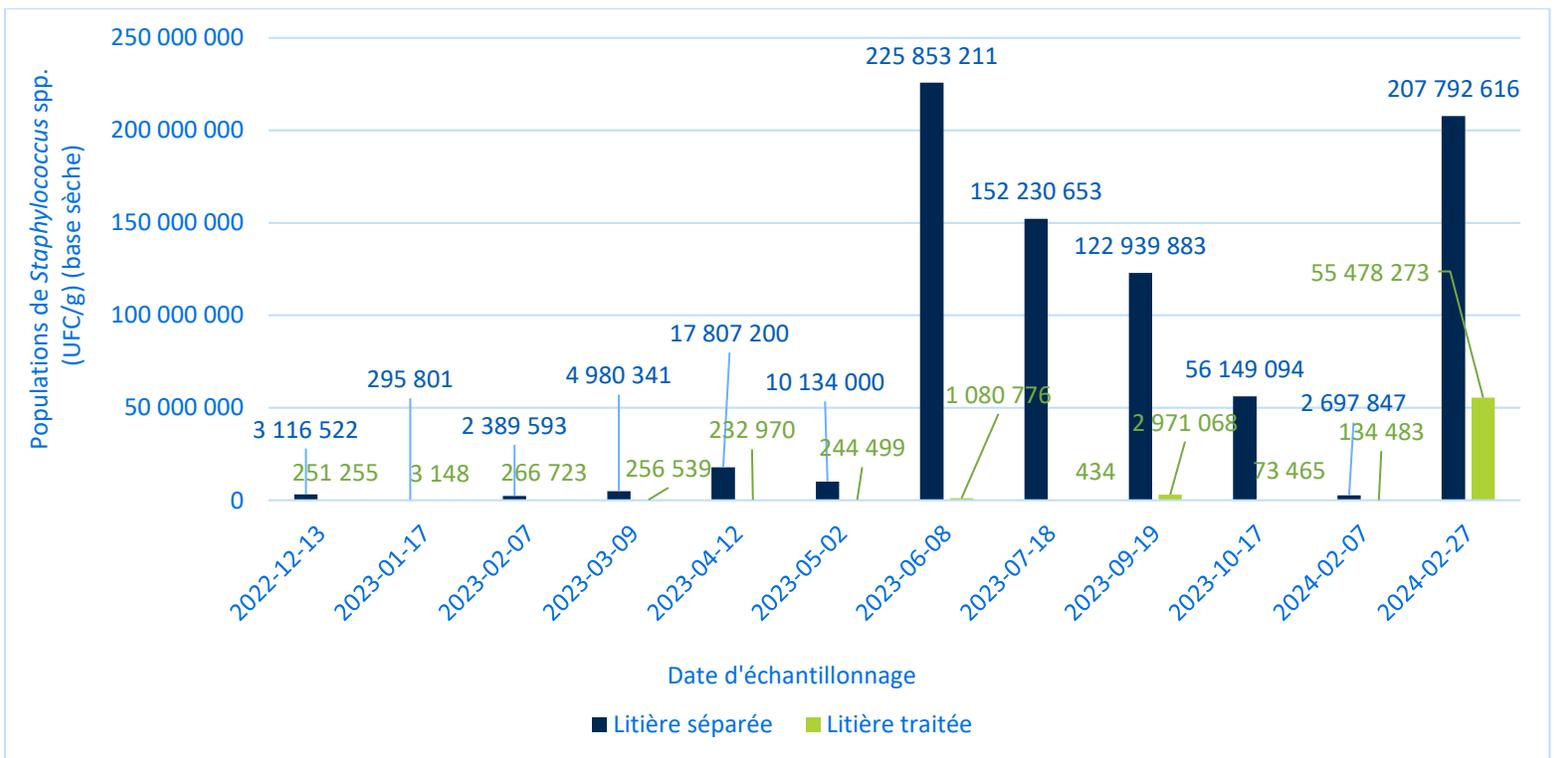


Figure 18. Populations de *Staphylococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

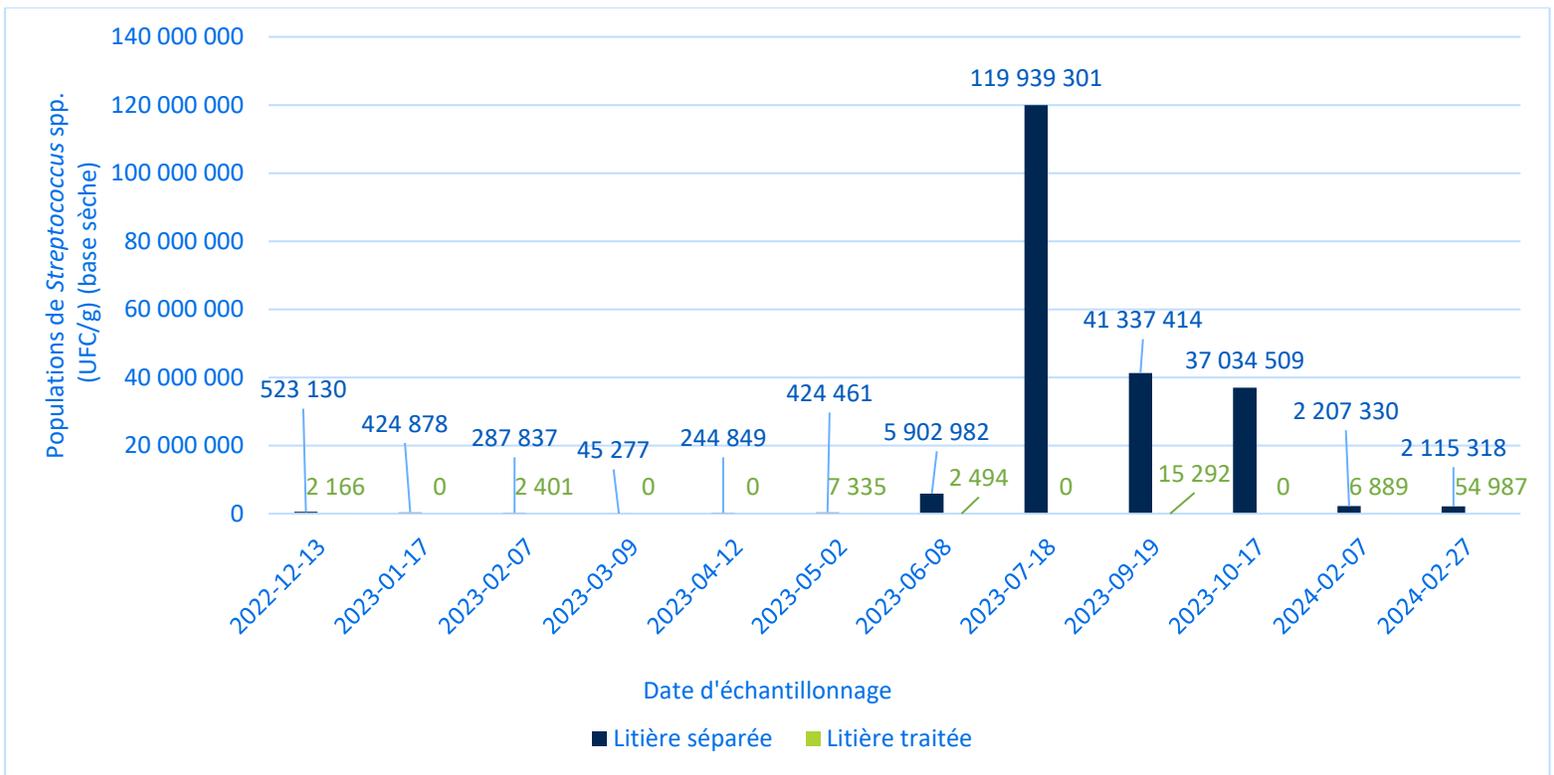


Figure 19. Populations de *Streptococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

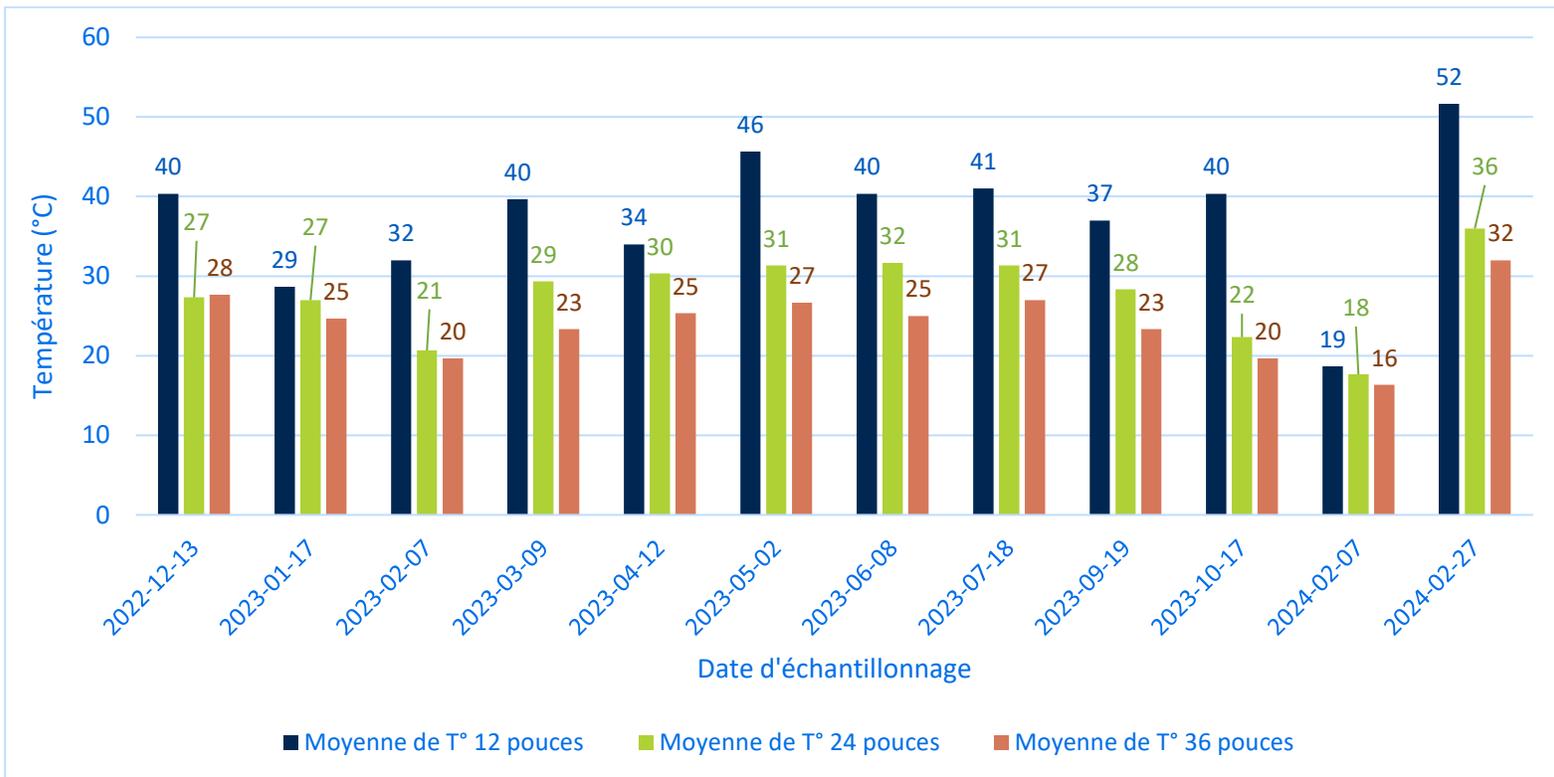


Figure 20. Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 1 jour selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

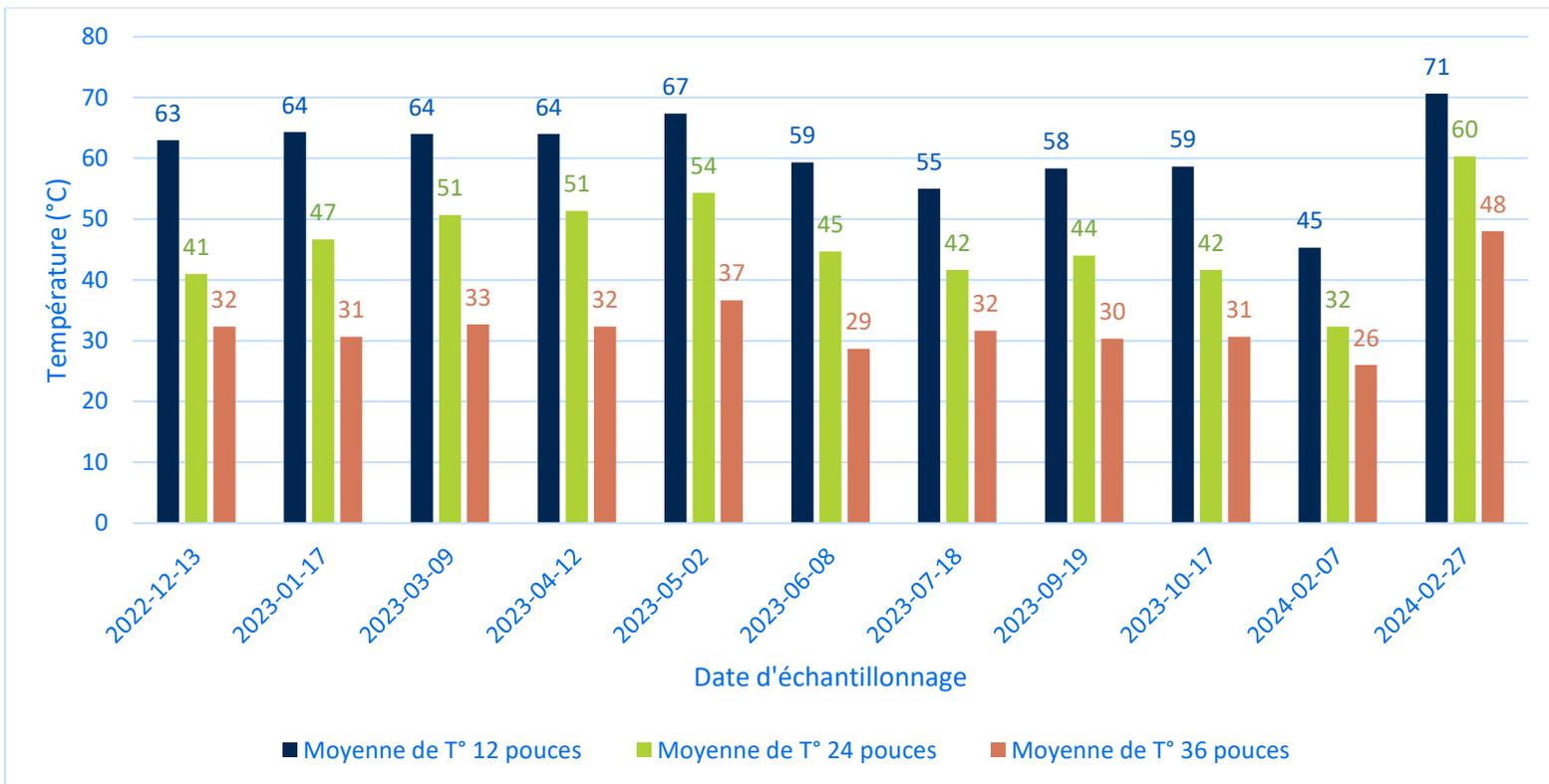


Figure 21. Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 2 jours selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

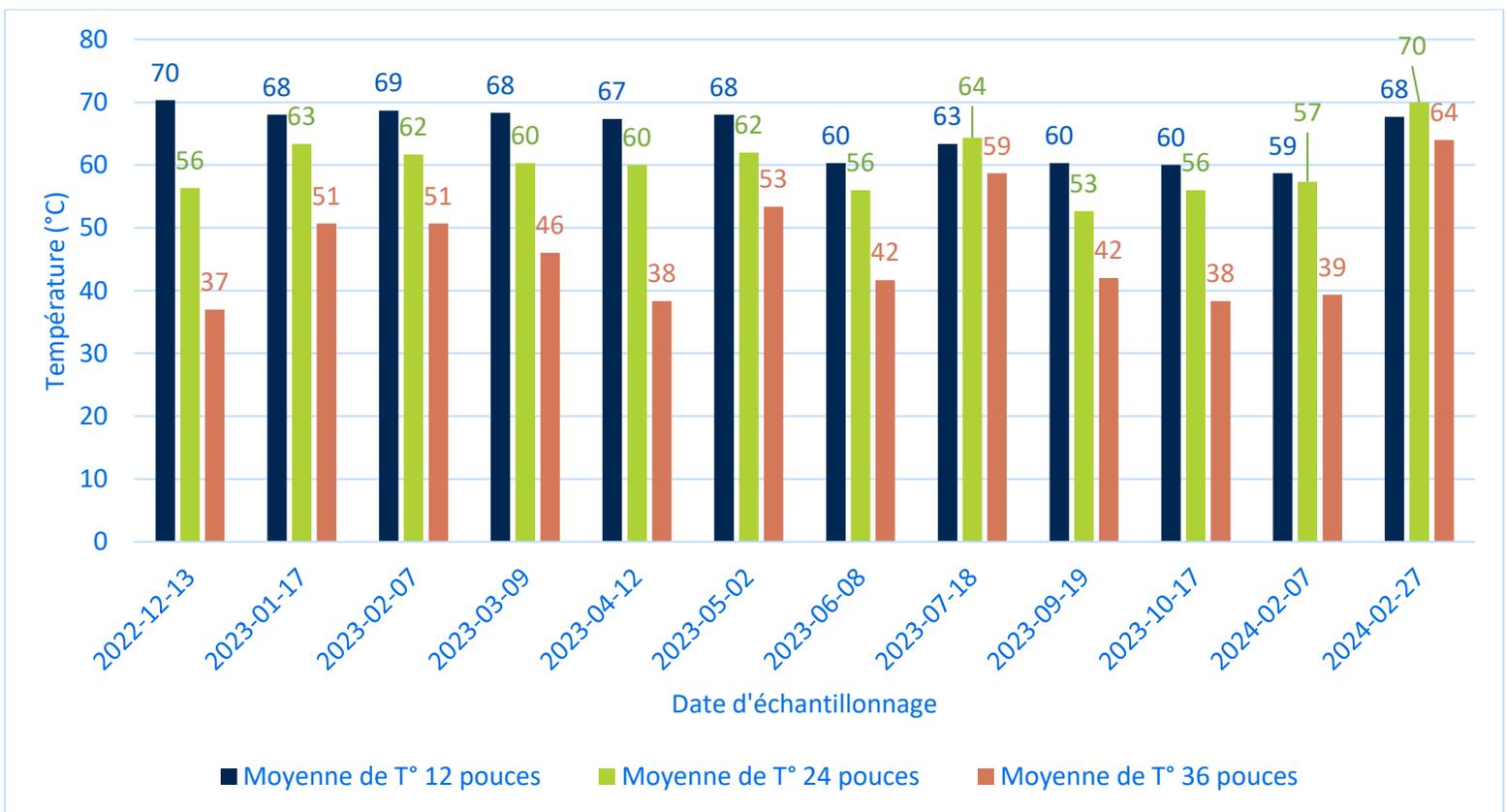
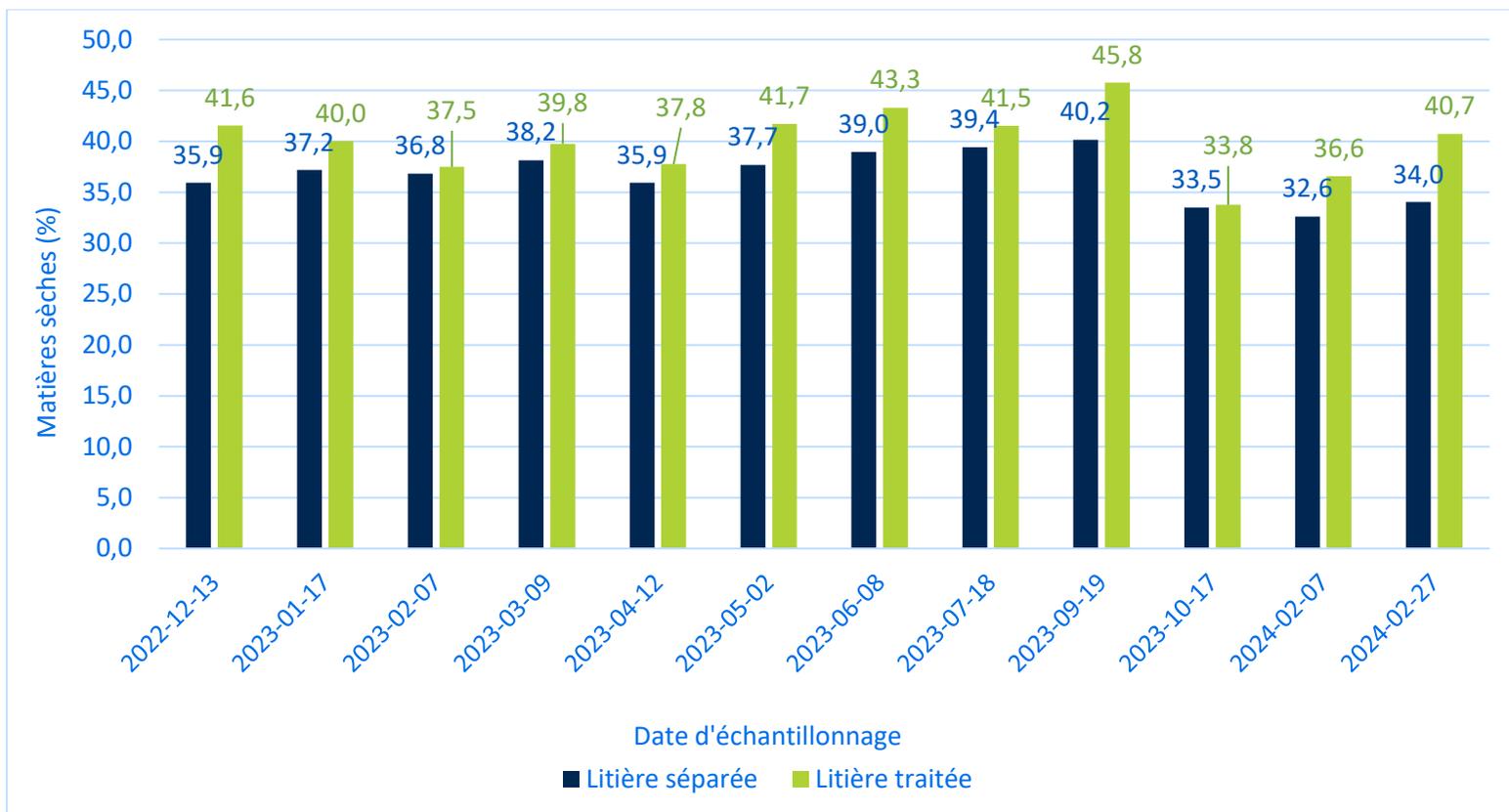


Figure 22. Températures mesurées à différentes profondeurs dans l'amas 3 jours selon la date d'échantillonnage à la ferme B.



**Figure 23.** Taux de matières sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme B.

Comme dans ce qui avait été remarqué dans le cas de la Ferme A, une hausse des populations bactériennes se remarque en été dans la litière séparée, avec la même efficacité du traitement à abattre les microorganismes. Les niveaux de staphylocoques sont toutefois élevés, et le restent également après le compostage sur 3 jours.

L'absence du plancher chauffant lors du premier échantillonnage en décembre 2022 semble avoir eu un impact sur la présence des microorganismes, où des populations un peu plus élevées que les autres mois d'hiver ont été dénombrées. L'impact s'est aussi vérifié sur la température prise en profondeur de l'amas 3 jours (Figure 21), où une température de 37 °C a été mesurée. Il y aurait possiblement un avantage à ce que les amas soient retournés après un ou deux jours afin d'y intégrer de l'oxygène et stimuler le compostage et la hausse de température dans l'ensemble du matériel.

#### 4.1.3 Ferme C

Les populations bactériennes mesurées dans les échantillons de litière séparée et traitée sont présentées selon le microorganisme de la Figure 24 à 28. Il est à noter que les bactéries pathogènes *Salmonella* spp., *Streptococcus agalactiae* et *Staphylococcus aureus* n'ont jamais été détectées dans les échantillons.

Les taux de matières sèches des litières séparées et traitées sont présentés à la Figure 29.

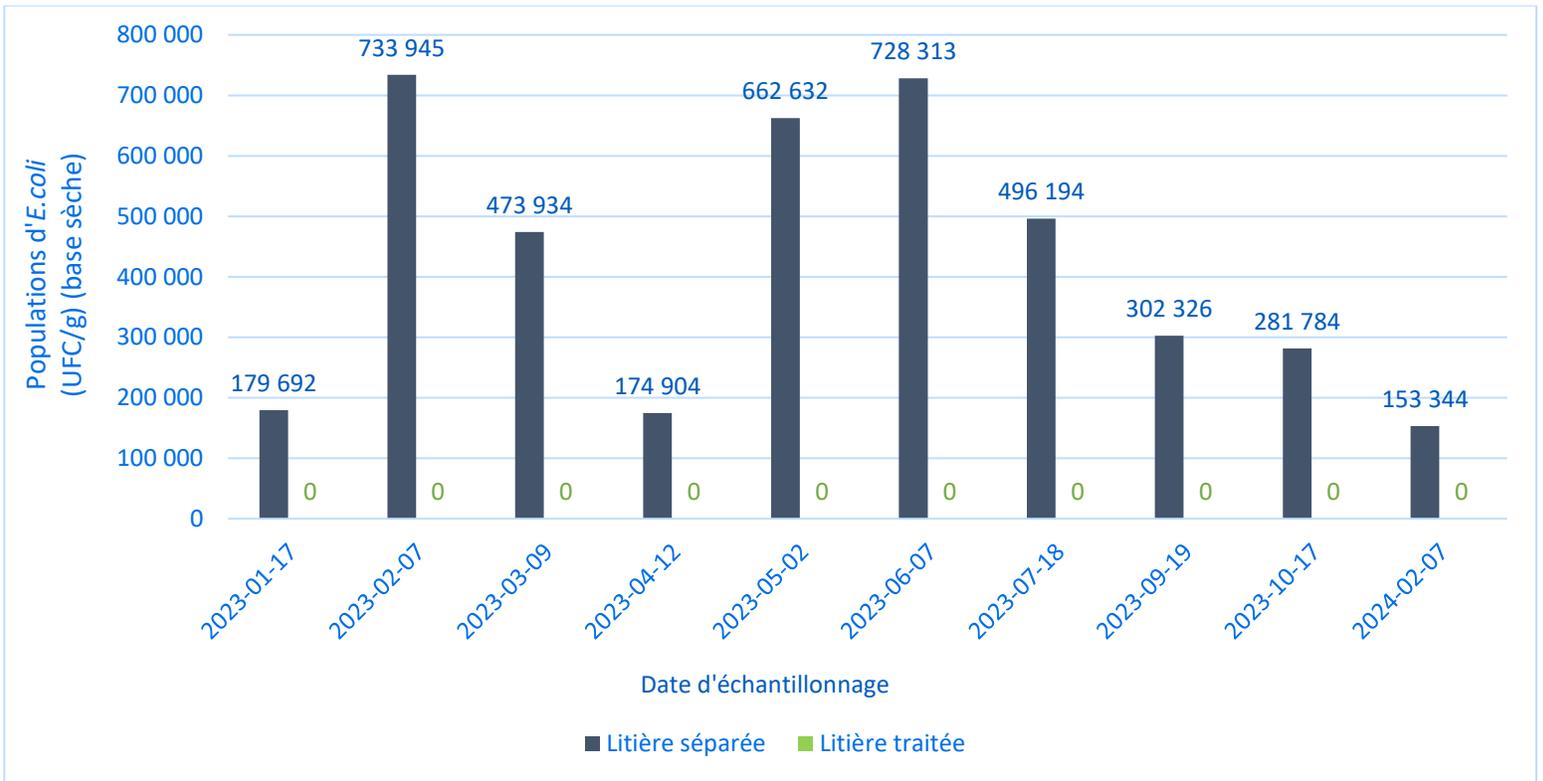


Figure 24. Populations d'*E. coli* dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.



Figure 25. Populations de coliformes totaux dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.

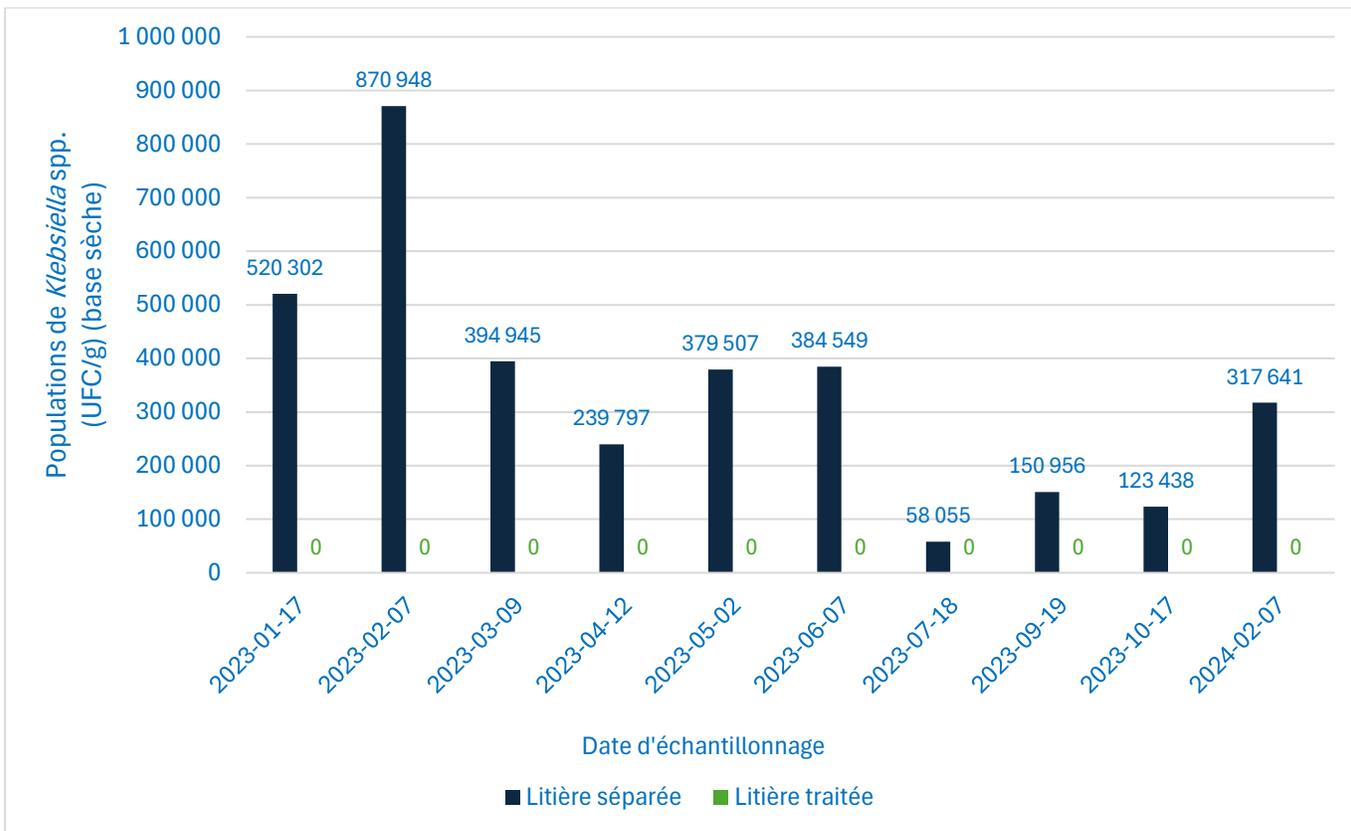


Figure 26. Populations de *Klebsiella* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.

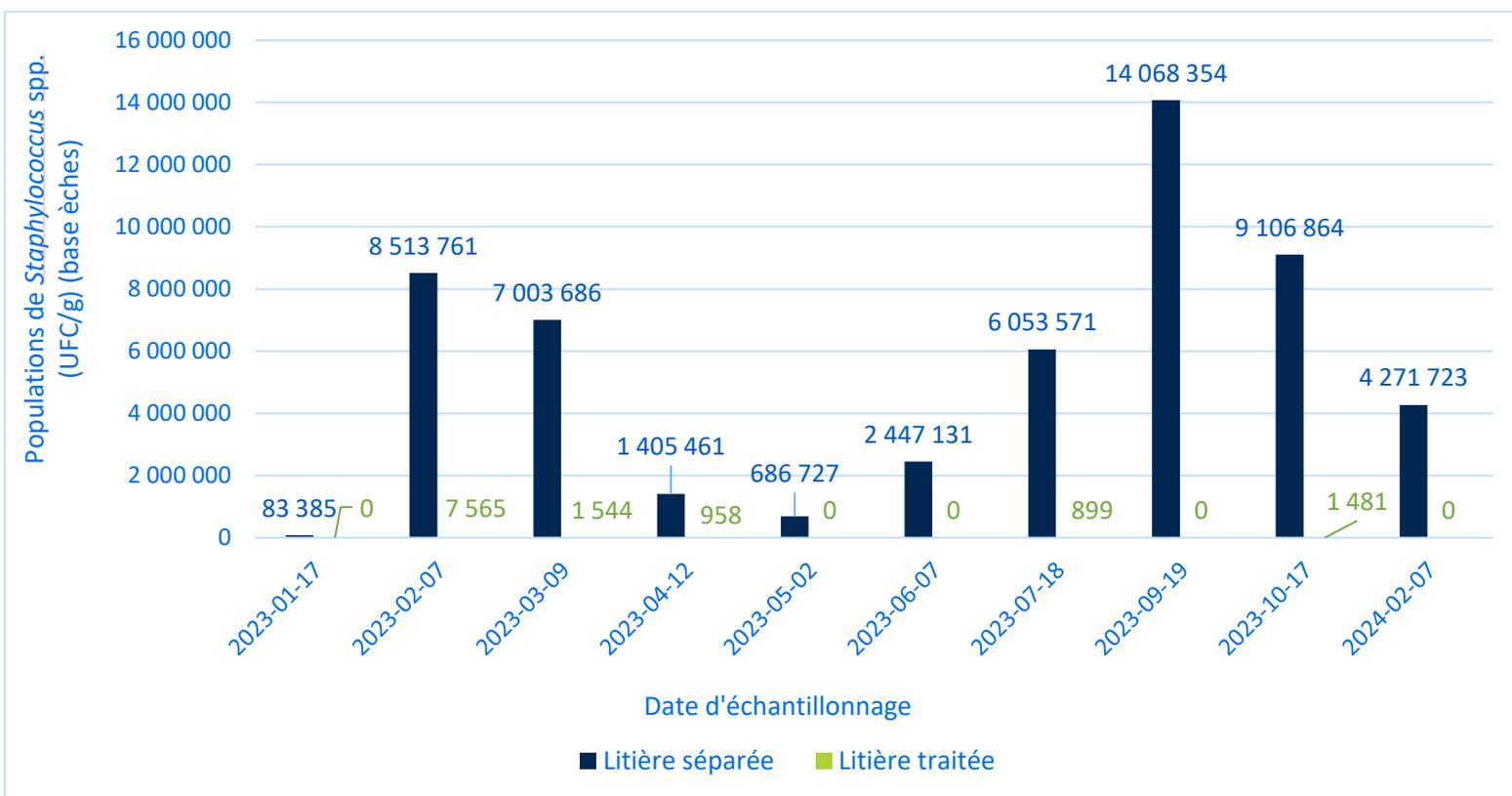


Figure 27. Populations de *Staphylococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.

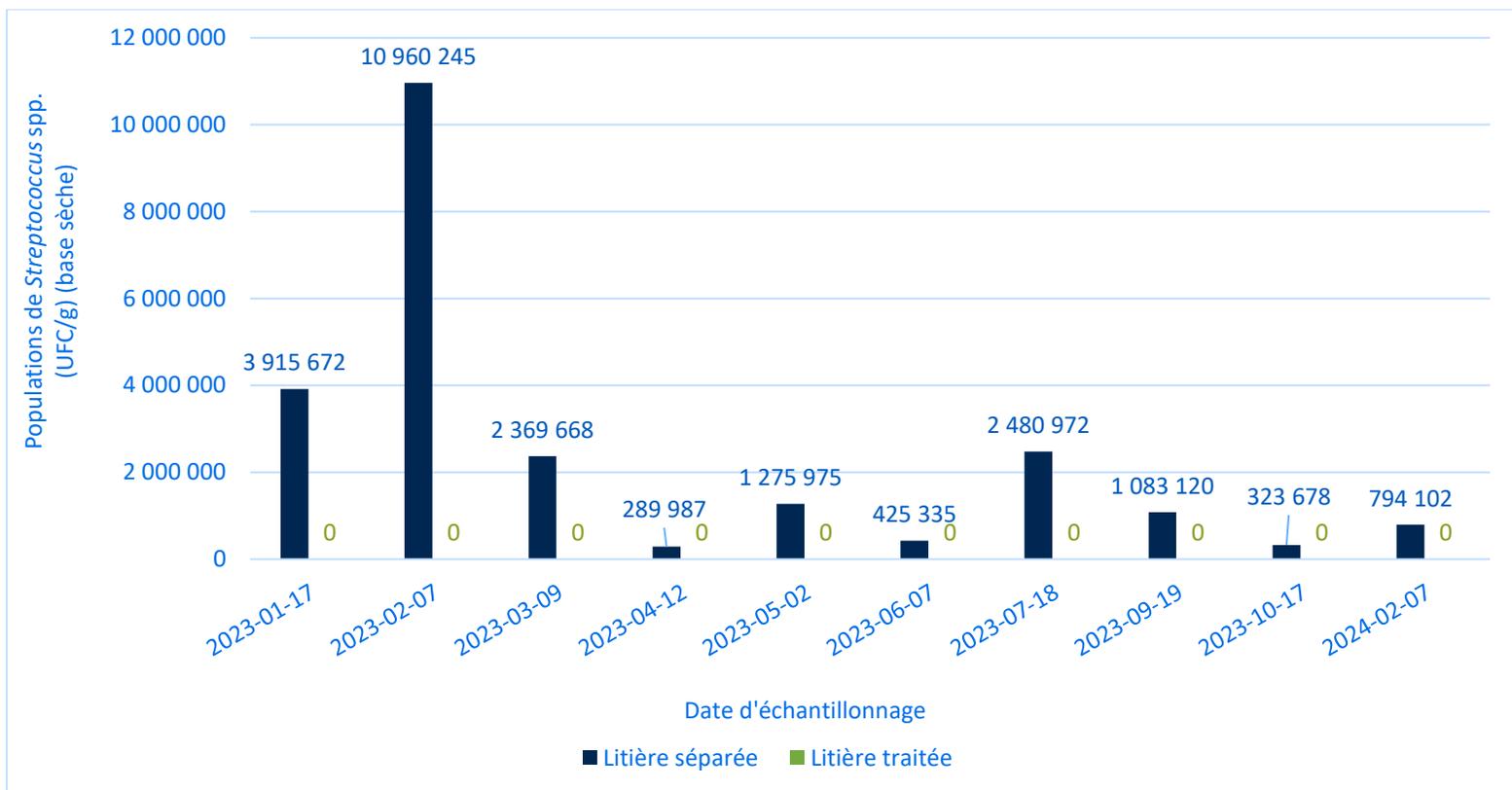


Figure 28. Populations de *Streptococcus* spp. dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.



Figure 29. Taux de matière sèches mesuré dans les litières selon la date d'échantillonnage à la ferme C.

Les résultats démontrent bien l'efficacité du composteur à abattre l'ensemble des microorganismes. Une faible proportion de staphylocoques résiste tout même au traitement, informant encore une fois de la résistance de ce type de bactérie durant le compostage selon les conditions rencontrées en entreprises.

L'analyse de la Figure 29 illustre des problèmes au séparateur lors de l'échantillonnage du 7 février 2023, où les niveaux de matières sèches ont été beaucoup plus bas que les niveaux visés de 38 à 40 %. Ce haut taux d'humidité dans la litière séparée s'est répercuté dans l'efficacité du composteur à atteindre les températures cibles. La Figure 30 présente les températures atteintes dans le composteur au cours des trois jours précédant l'échantillonnage. Les températures ont baissé sous le seuil de 50 °C durant quelques heures le matin de l'échantillonnage. Bien que ceci ait eu une incidence sur le taux de matières sèches, les graphiques précédents ont tout de même montré l'abattement des microorganismes.

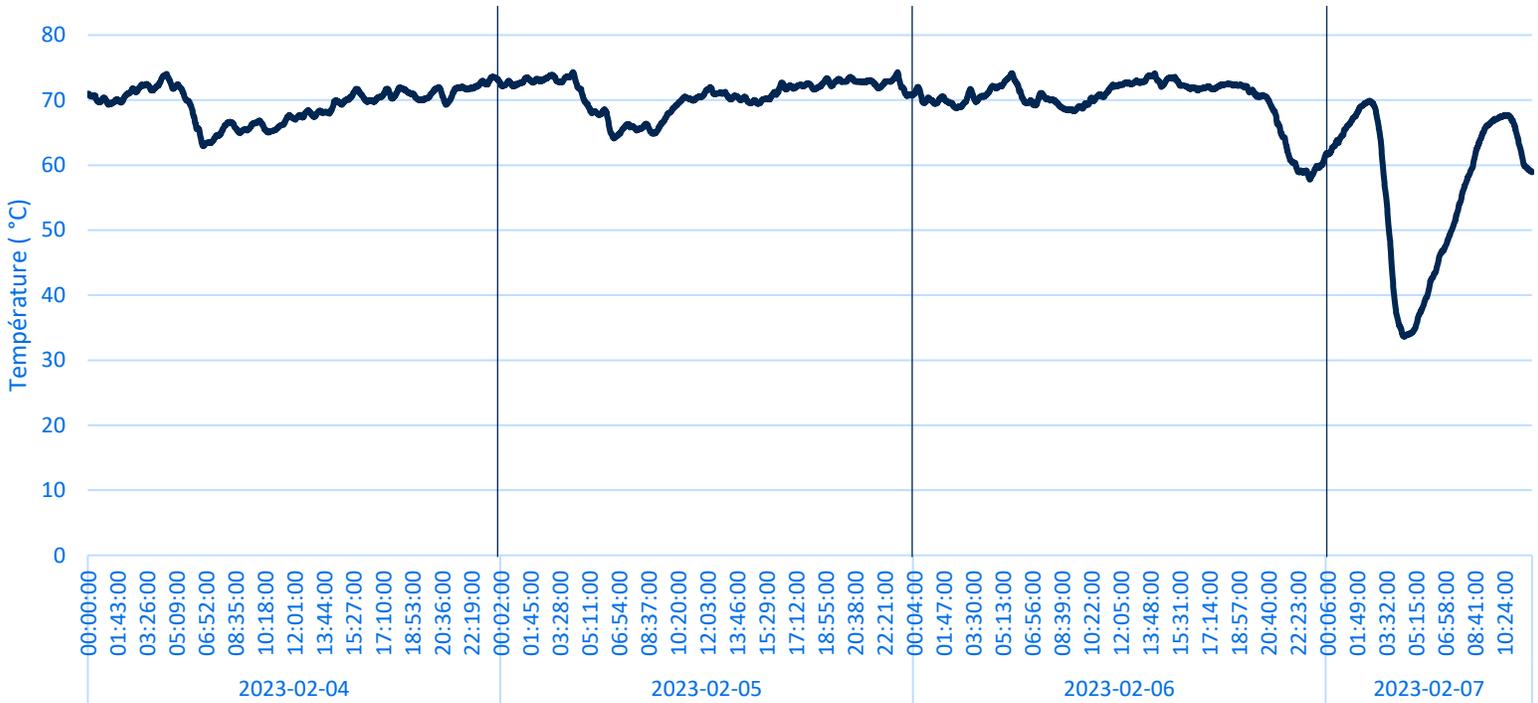


Figure 30. Relevé des températures dans les 3 jours précédant l'échantillonnage du 2 février 2023 à la ferme C.

Lors de l'échantillonnage du 27 février 2024, une mauvaise programmation du composteur a fait en sorte que la température ciblée de 70 °C n'a pas été atteinte. La Figure 31 montre les températures atteintes dans l'équipement durant les trois jours précédents l'échantillonnage. Les températures ont été sous la barre des 55 °C durant environ trois jours, ce qui a eu un impact majeur sur les niveaux de microorganismes dénombrés dans la litière traitée. Le Tableau 2 présente ces résultats.

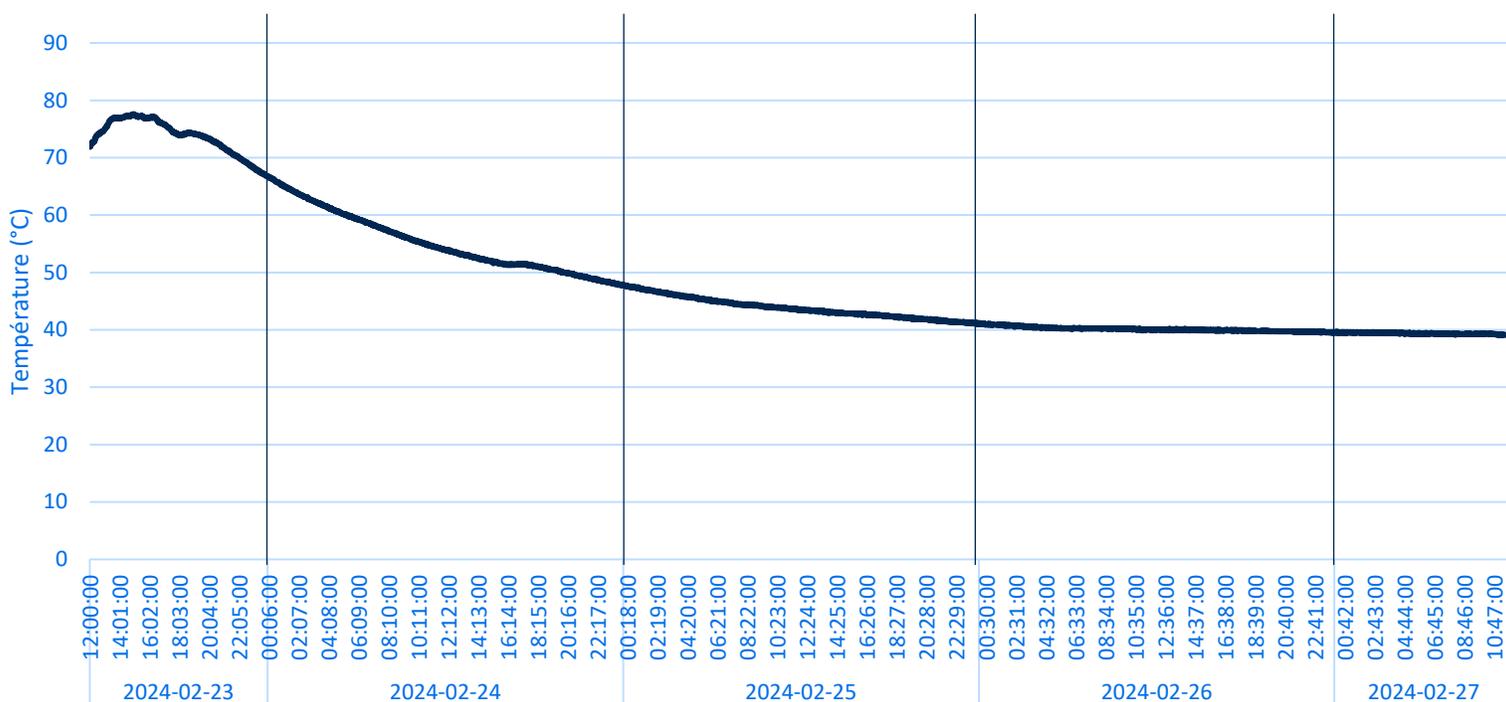


Figure 31. Relevé des températures dans les 3 jours précédant l'échantillonnage du 27 février 2024 à la ferme C.

Tableau 2. Populations bactériennes mesurées dans les litières lors de l'échantillonnage du 27 février 2024.

Microorganisme	Litière séparée	Litière traitée
	UFC/g (base sèche)	
<i>E. coli</i>	215 329	155 741
Coliformes totaux	493 852	341 751
<i>Klebsiella spp.</i>	587 006	649 815
<i>Staphylococcus spp.</i>	8 702 099	31 148 148
<i>Streptococcus spp.</i>	1 647 735	2 255 555 556

Ces résultats démontrent bien l'impact qu'une mauvaise utilisation ou une défaillance de l'équipement peut avoir sur la présence des microorganismes, et que les alertes du système automatique sont nécessaires. Ainsi, tel que les producteurs le font actuellement à la ferme, il est important de ne pas utiliser la litière issue du traitement défaillant.

## 4.2 VOLET 2a - POTENTIEL DE RECROISSANCE DES MICROORGANISMES DANS LES LITIÈRES PRÉLEVÉES EN ENTREPRISES

Les prochaines sections présentent les résultats des deux essais en conditions contrôlées suite à l'incubation des litières traitées à 15 °C durant 3 jours et ce, après contamination artificielle (inoculé) ou non (non inoculé). Les résultats seront présentés en base logarithmique (base 10) dans les graphiques suivants.

### 4.2.1 Mélange de souches bactériennes servant à la contamination artificielle

La Figure 31 présente les populations bactériennes mesurées dans le mélange ayant servi à contaminer artificiellement les litières pour les essais en 2023 et 2024. Un seuil de 6 Log<sub>10</sub> UFC/g de litière était visé par microorganisme, ce qui a relativement bien été atteint.

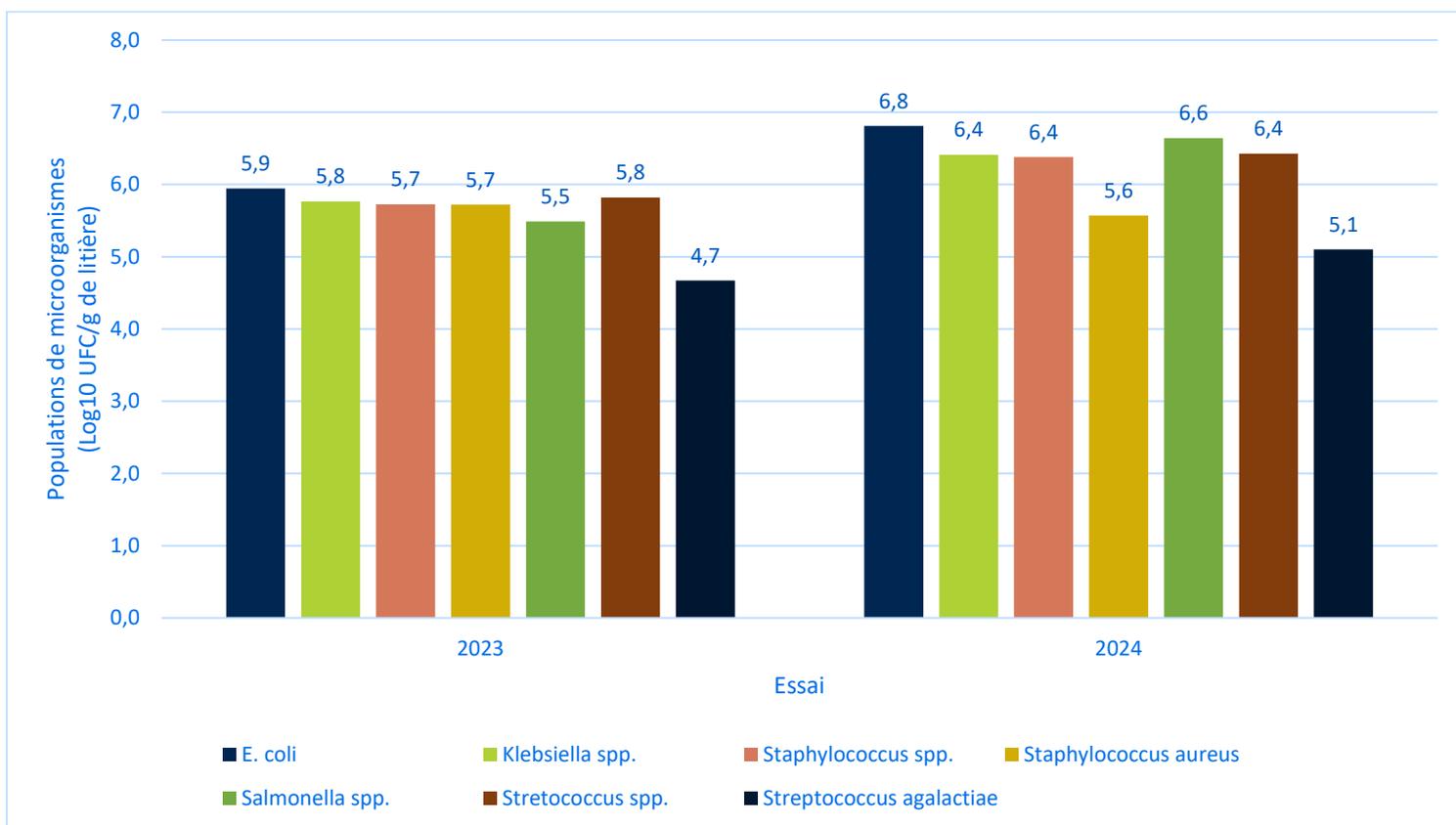


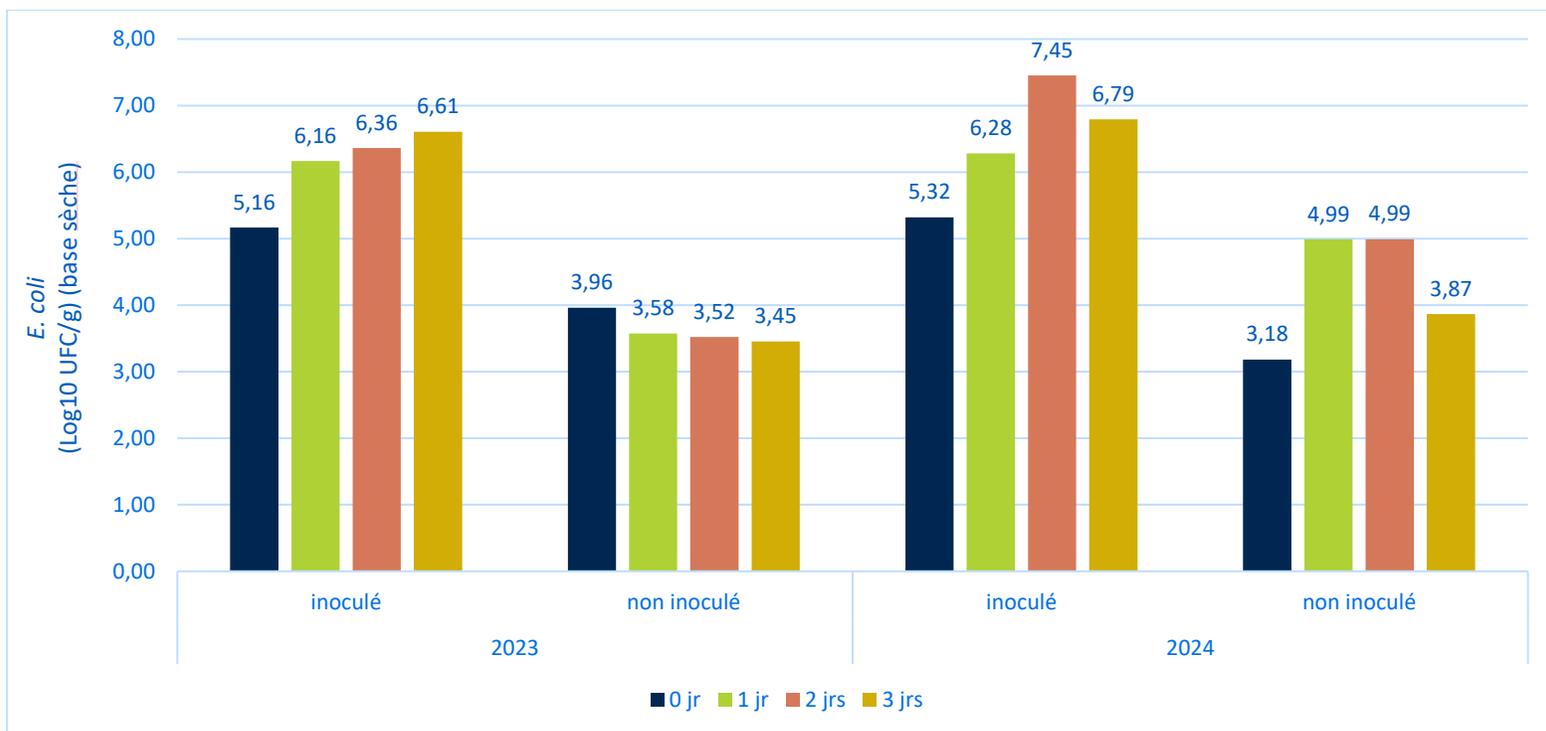
Figure 32. Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2023.

## 4.2.2 Ferme A

Les Figures 32 à 34 présentent les populations d'*E. coli*, *Staphylococcus* spp. et *Staphylococcus aureus*, respectivement. Puisque les mêmes tendances sont observées pour les autres microorganismes, les autres graphiques associés aux autres microorganismes sont présentés à l'Annexe 1.

Lorsque la litière n'était pas contaminée artificiellement, les populations d'*E. coli* (Figure 32), coliformes totaux, de *Klebsiella* spp. (essai de 2023) et de streptocoques totaux sont demeurées stables durant les trois jours. Lorsque la litière a été inoculée, une augmentation des populations a eu lieu, variant entre 1 et 3 Log10 selon le microorganisme. Les populations de staphylocoques totaux et de *Klebsiella* spp. (essai de 2024) sont celles qui ont eu la hausse la plus importante.

Pour ce qui est des bactéries pathogènes spécifiques, la Figure 33 présente le comportement des *Staphylococcus aureus* suivant l'inoculation ou non. Les autres bactéries pathogènes ont également eu le même comportement, c'est-à-dire que les populations se sont relativement maintenues stables durant les trois jours d'incubation, et qu'aucune croissance n'a été détectée lorsqu'il n'y en avait pas au départ.



**Figure 33.** Populations d'*E. coli* dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 34.** Populations de *Staphylococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 35.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.

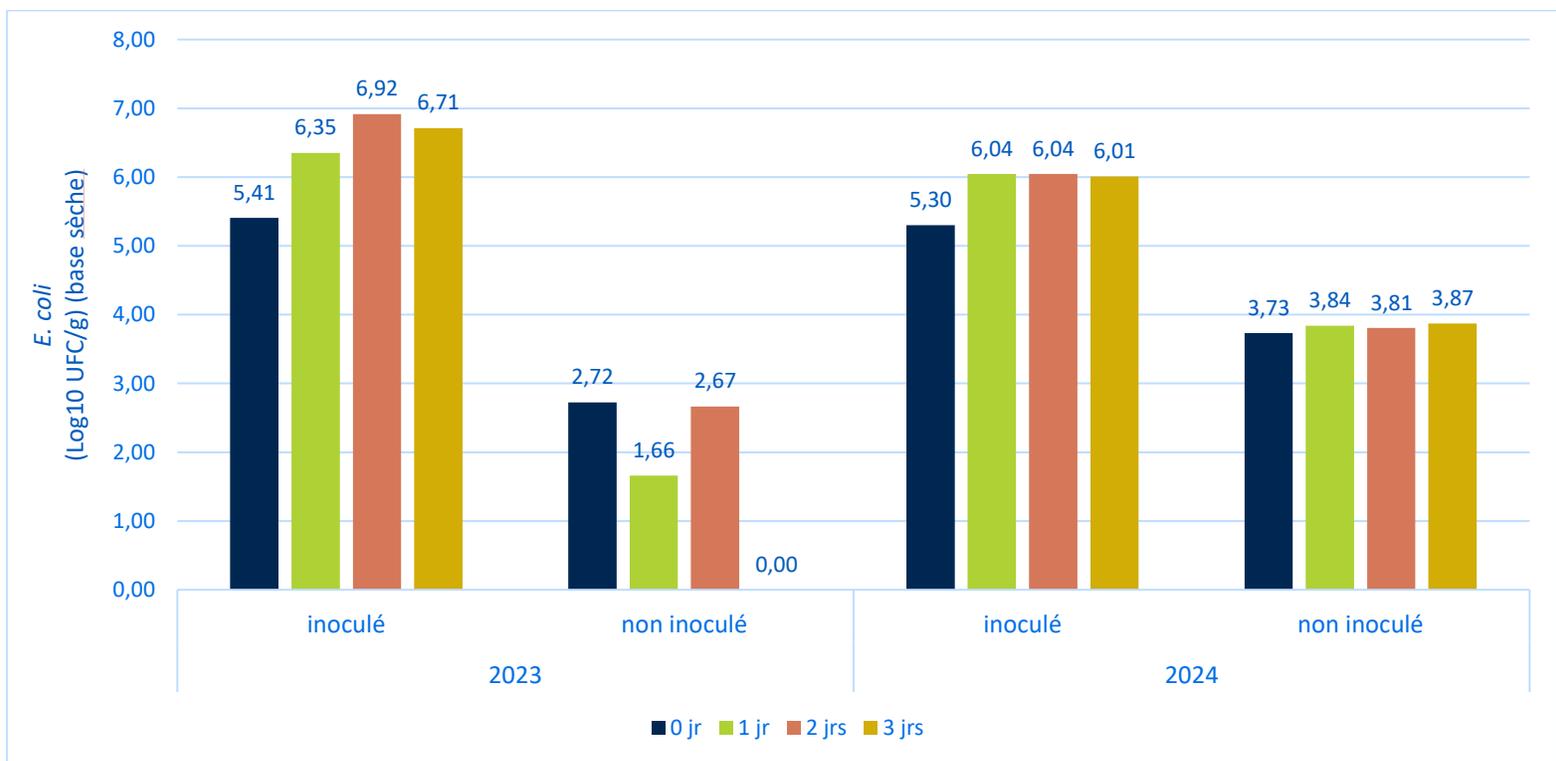
### 4.2.3 Ferme B

Les Figures 35 à 36 présentent les populations d'*E. coli*, *Staphylococcus spp.*, *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus spp.*, respectivement. Les graphiques concernant les autres microorganismes sont présentés à l'Annexe 2.

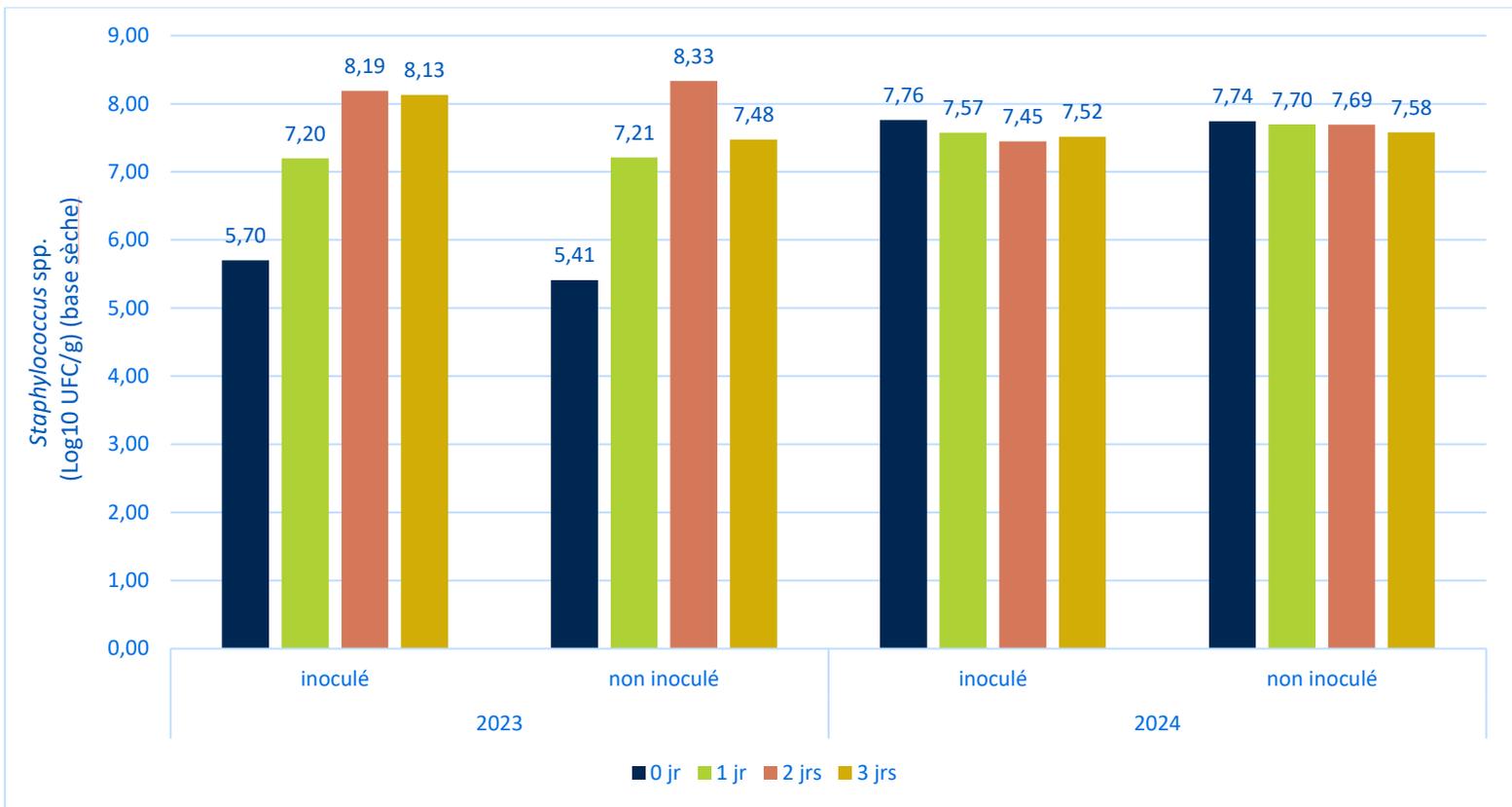
Lorsque la litière n'était pas contaminée artificiellement, les populations d'*E. coli* (Figure 35), coliformes totaux et *Klebsiella spp.* sont demeurées stables sur les 3 jours. Une attention particulière doit être portée au comportement des streptocoques totaux (Figure 36). Dans l'essai de 2023, la bactérie n'a pas été détectée dans la litière au départ, mais l'incubation a permis la prolifération de celle-ci pour se stabiliser sur les trois jours. Il faut donc comprendre qu'au départ, les populations étaient sous la limite de détection, mais tout de même présentes, et l'incubation a favorisé leur développement et permis de les détecter, puisque les niveaux ont dépassé la limite de détection.

Lorsque la litière a été inoculée, une augmentation des populations a eu lieu, variant entre 1 et 3 Log10 selon le microorganisme. Les populations de staphylocoques totaux sont celles qui ont eu la hausse la plus importante.

Dans le cas des bactéries pathogènes, la Figure 37 présente le comportement des *Staphylococcus aureus* suivant l'inoculation ou non. Les autres bactéries pathogènes ont également eu le même comportement, c'est-à-dire que les populations se sont relativement maintenues stables durant les trois jours d'incubation à la suite de la contamination artificielle, et qu'aucune croissance n'a été détectée lorsqu'il n'y en avait pas au départ.



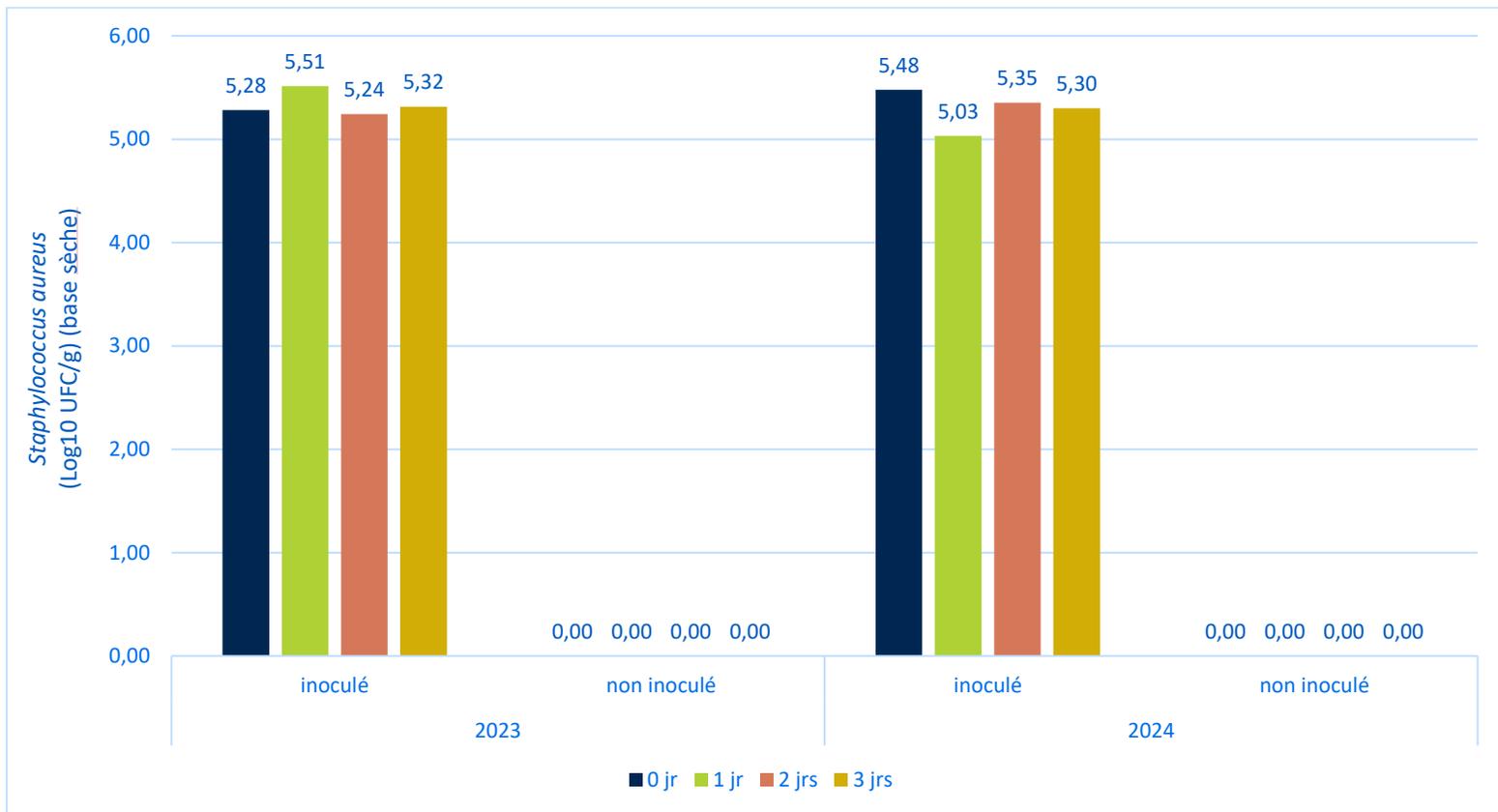
**Figure 36.** Populations d'*E. coli* dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 37.** Populations de *Staphylococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 38.** Populations de *Streptococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 39.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.

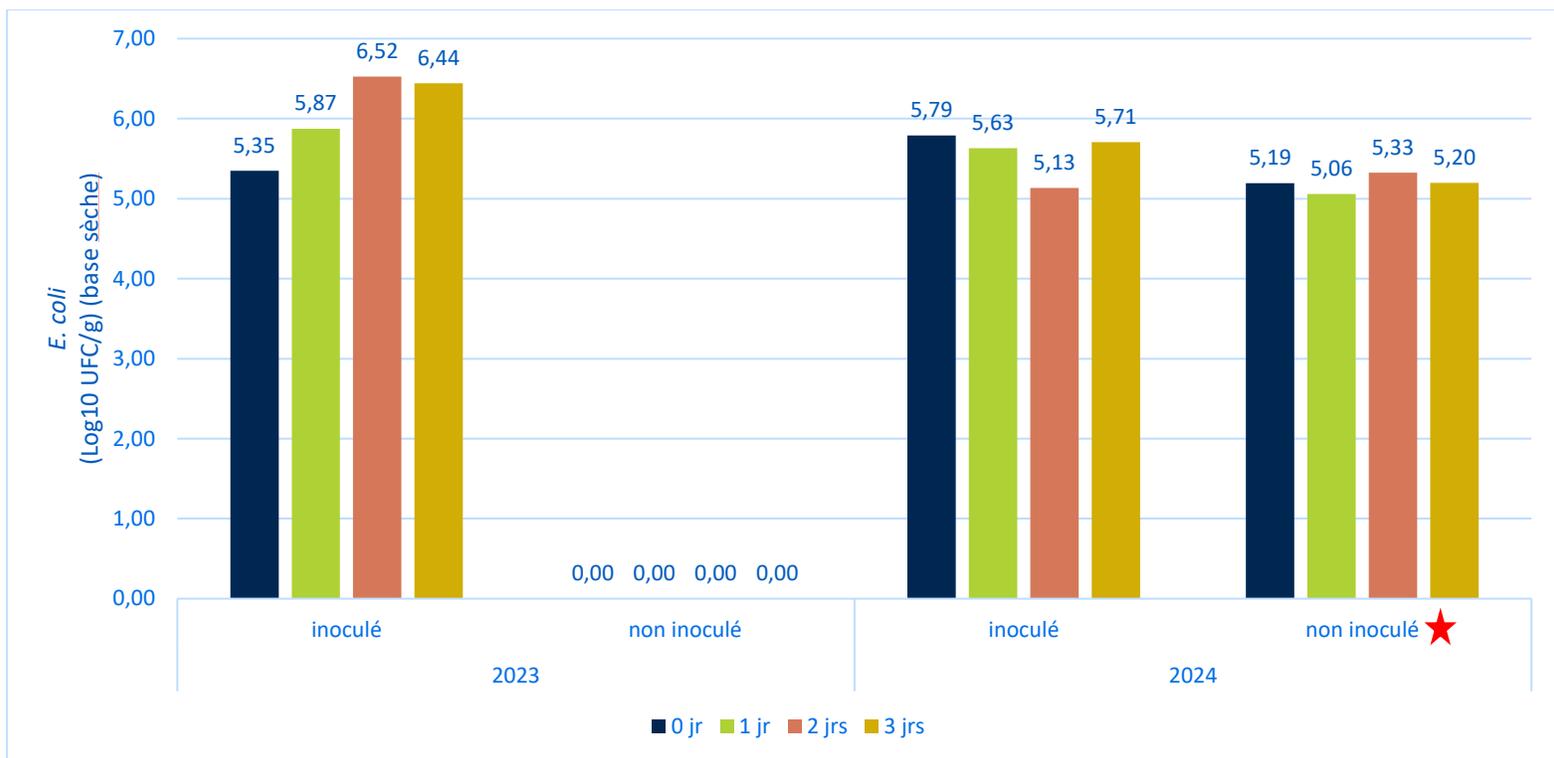
#### 4.2.4 Ferme C

Les Figures 39 à 41 présentent les populations d’*E. coli*, *Staphylococcus* spp. et *Streptococcus agalactiae*, respectivement. Les graphiques associés aux autres microorganismes sont présentés à l’Annexe 3.

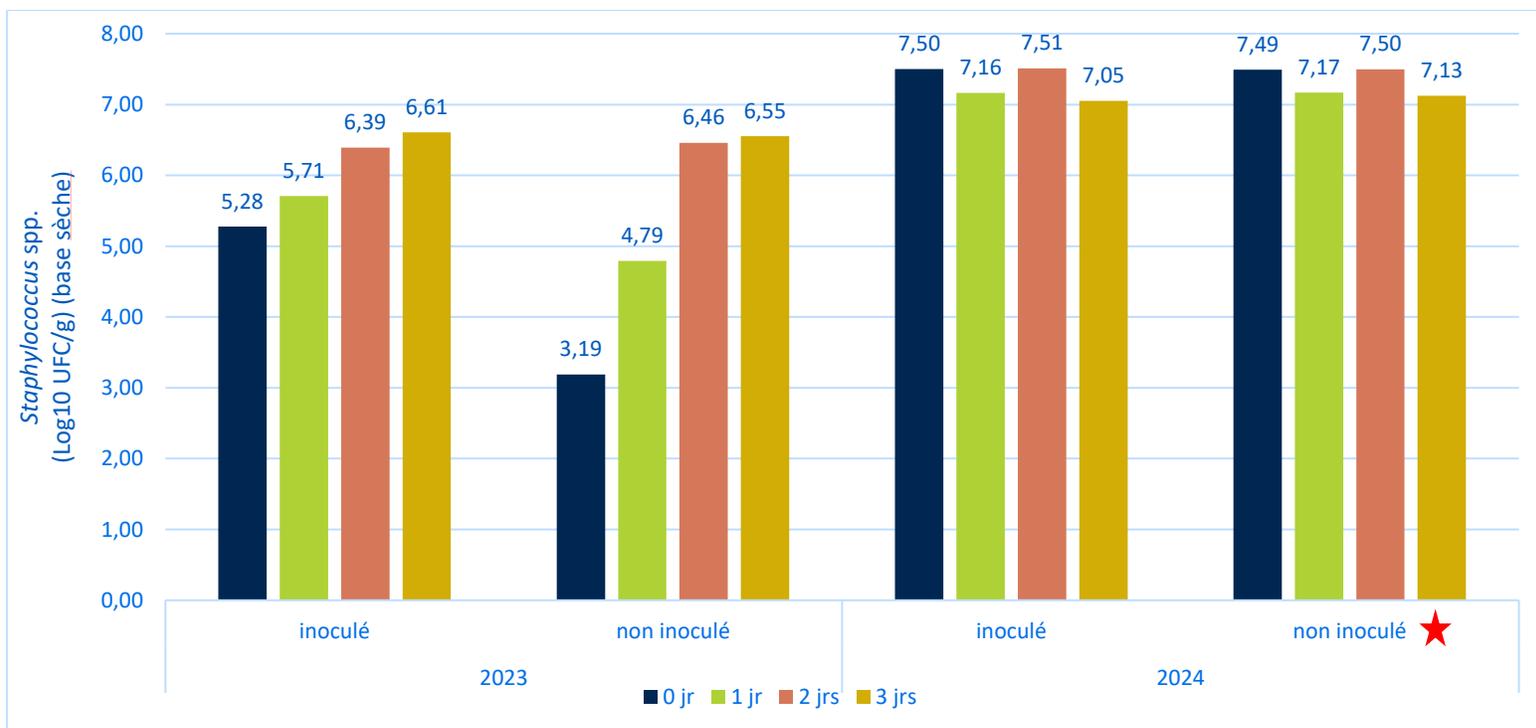
Sans contamination artificielle de la litière, il faut regarder les résultats réalisés en 2023 pour évaluer de façon réaliste le potentiel naturel de recroissance. En effet, la litière traitée prise en 2024 a été prélevée durant une période où le composteur n’était pas ajusté adéquatement (voir détails à la section 4.1.3). Ainsi, il faut remarquer que dans tous les cas, lorsque les bactéries n’ont pas été détectées au départ, il n’y a pas de nouvelle détection sur trois jours à 15 °C. Dans le cas des staphylocoques, une augmentation d’environ 3 Log10 a été mesurée sur trois jours.

Lorsque la litière a été inoculée, les populations se sont maintenues stables ou ont subi une faible augmentation d’environ 1 Log10 selon le microorganisme.

Pour ce qui est des bactéries pathogènes, la Figure 40 présente le comportement des *Strep. agalactiae* suivant l’inoculation ou non. Les autres bactéries pathogènes ont également eu le même comportement, c’est-à-dire que les populations se sont relativement maintenues stables durant les trois jours d’incubation à la suite de la contamination artificielle, et qu’aucune croissance n’a été détectée lorsqu’il n’y en avait pas au départ.



**Figure 40.** Populations d'*E. coli* dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. Note. L'étoile rouge (★) rappelle le fait que le biocomposteur était défaillant lors de l'échantillonnage du 27 février 2024 (voir détails en 4.1.3).



**Figure 41.** Populations de *Staphylococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024. Note. L'étoile rouge (★) rappelle le fait que le biocomposteur était défaillant lors de l'échantillonnage du 27 février 2024 (voir détails en 4.1.3).



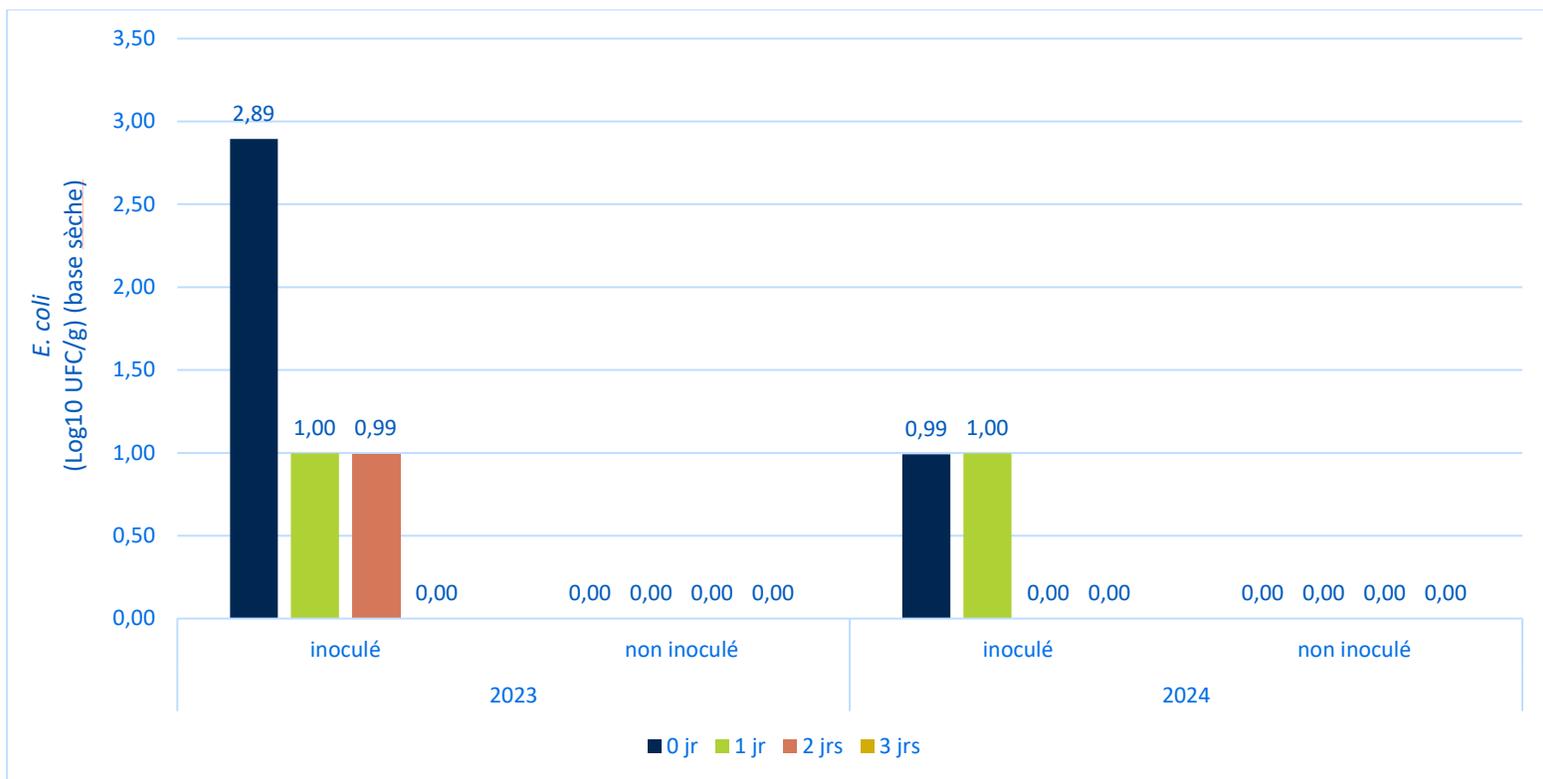
**Figure 42.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.

#### 4.2.5 Témoin ripe de bois

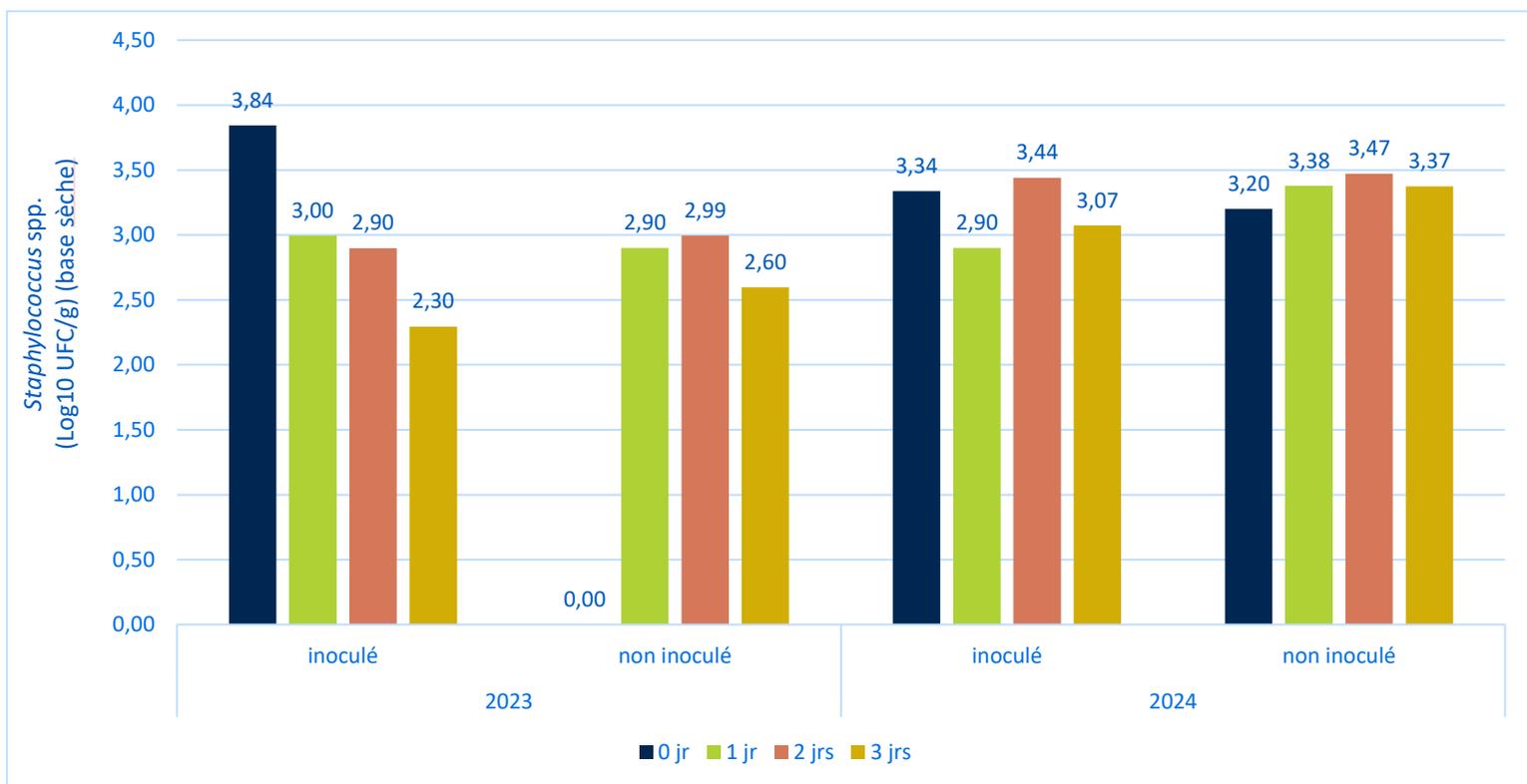
La ripe de bois a réagi de façon très différente des litières de fumier recyclé. Comparativement à un taux de matières sèches moyen de près de 40 % dans les litières traitées prélevées dans les entreprises laitières, celui de la ripe de bois était de 91,8 %. Aussi, le pH moyen mesuré dans la ripe de bois et les litières était de 5,5 et de 7,8, respectivement. Les Figures 42 à 44 présentent les résultats pour *E. coli*, *Staphylococcus* spp. et *Streptococcus* spp., respectivement. Les autres graphiques se trouvent à l’Annexe 4.

Sans inoculation artificielle, mis à part des staphylocoques et des streptocoques retrouvés dans l’échantillon de 2024, la ripe de bois ne contenait aucun microorganisme ciblé par cette étude au départ. Ces bactéries n’ont pas été détectées non plus durant l’incubation de trois jours. Les populations de staphylocoques et de streptocoques sont toutefois devenues détectables en 2023 durant l’essai, alors qu’elles se sont relativement maintenues durant l’essai de 2024. Les populations sont toutefois plus faibles que dans les litières de fumier recyclé.

Avec une contamination artificielle, la ripe de bois n’a pas maintenu la croissance des bactéries durant très longtemps. Aucune croissance de *Strep. agalactiae* et de salmonelles n’a été détectée, même tout de suite après l’inoculation des échantillons avec les bactéries. Encore une fois, les staphylocoques ont résisté durant les trois jours, mais à de faibles niveaux.



**Figure 43.** Populations d'*E. coli* dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 44.** Populations de *Staphylococcus* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.

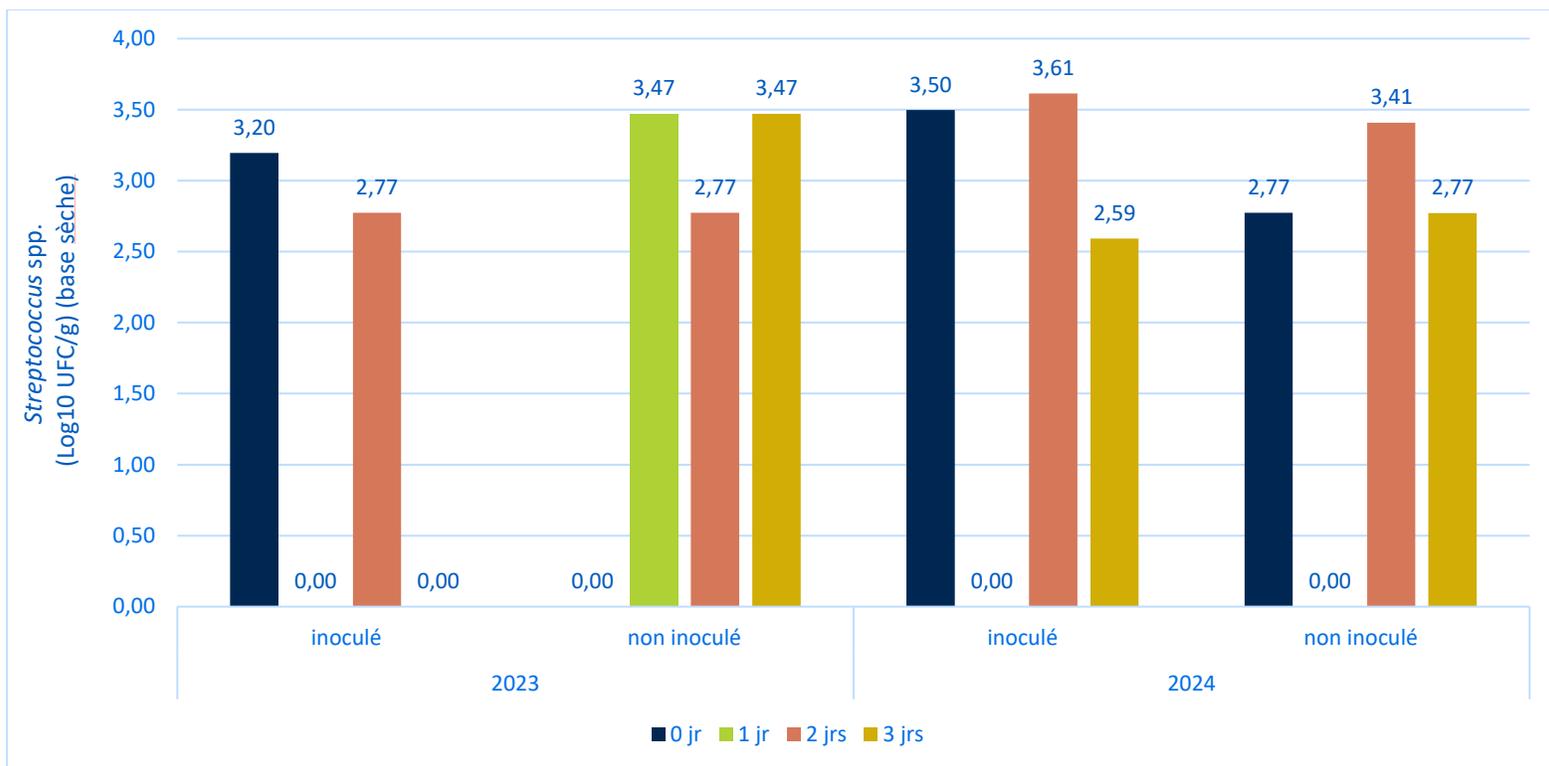
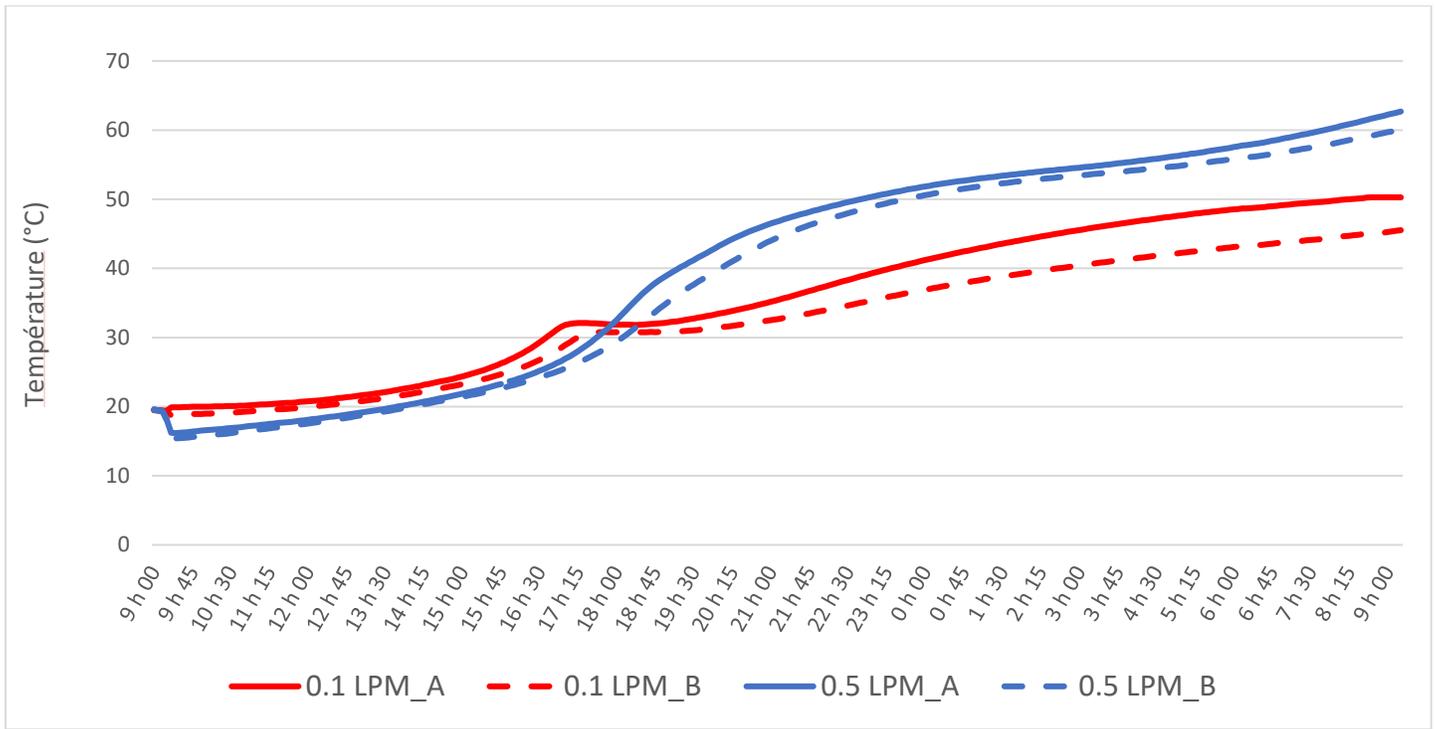


Figure 45. Populations de *Streptococcus* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.

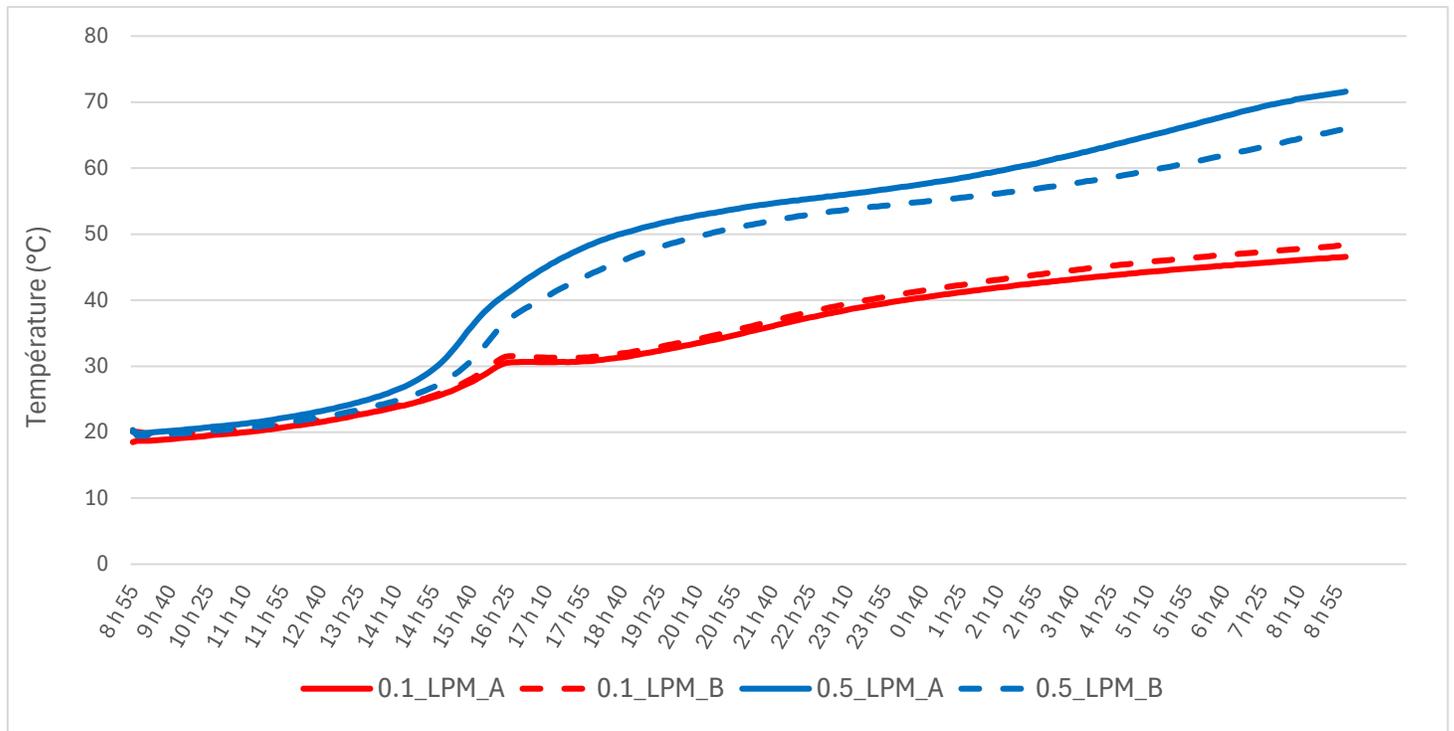
### 4.3 VOLET 2b – IMPACT DES CONDITIONS DE COMPOSTAGE EN BIODIGESTEURS EXPÉRIMENTAUX SUR LE DEVENIR DES MICROORGANISMES

#### 4.3.1 Relevé des conditions de compostage en laboratoire

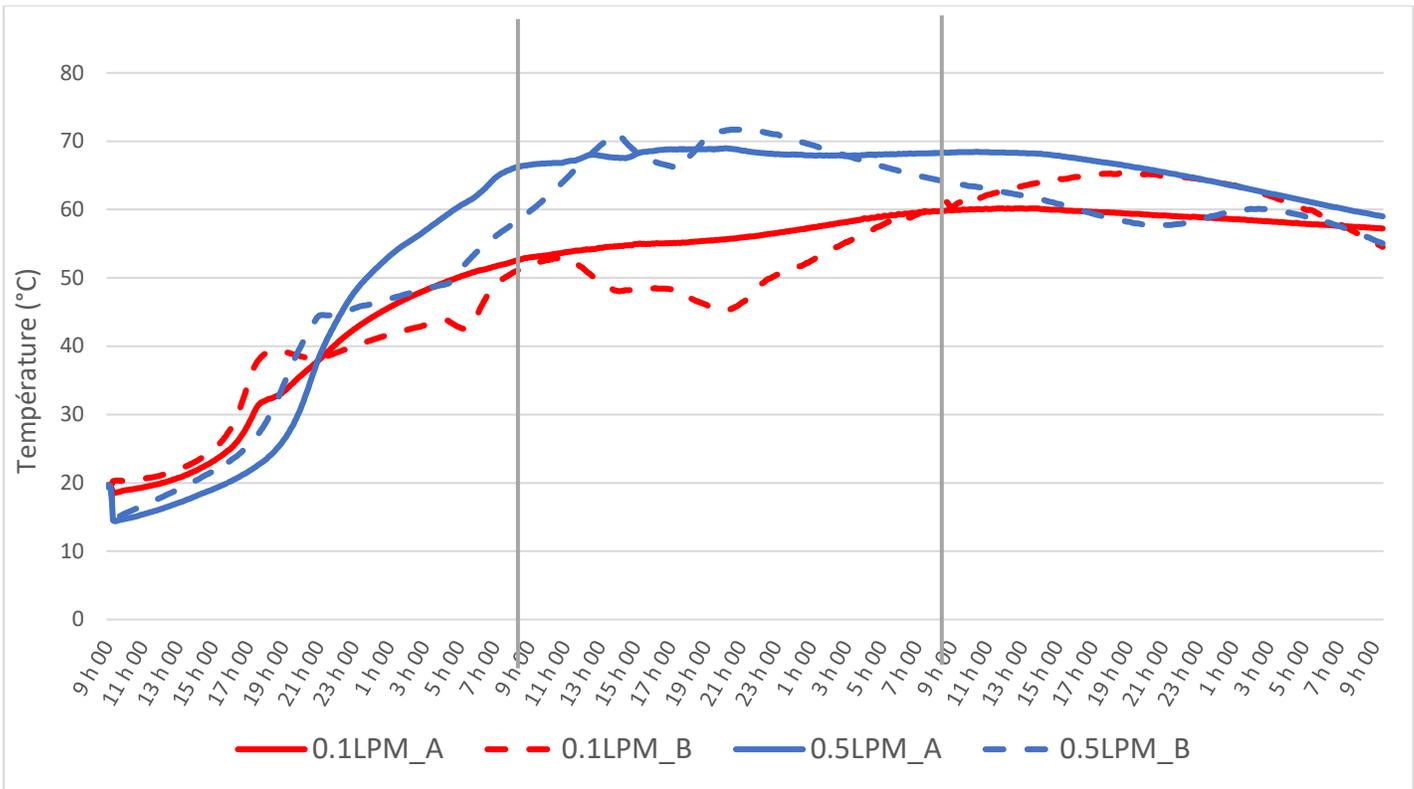
Les Figures suivantes présentent le suivi des températures dans chaque biodigesteur selon la durée de compostage pour les essais en 2023 et 2024. Les températures mesurées durant les essais s’étant déroulés sur un jour sont relativement semblables (Tableaux 3 et 4). Pour les essais sur 3 jours, un des biodigesteurs a atteint des températures moins élevées que l’autre soumis aux mêmes conditions d’aération, soit 50 °C au lieu de 60 °C (Figure 48). Pour cette raison, les essais 2023 et 2024 seront analysés séparément pour ce traitement, soit le traitement à 0.1 LPM sur 3 jours. Sinon, étant donné les conditions semblables pour les 2 essais, les résultats présentés pour les autres traitements seront les moyennes des deux essais.



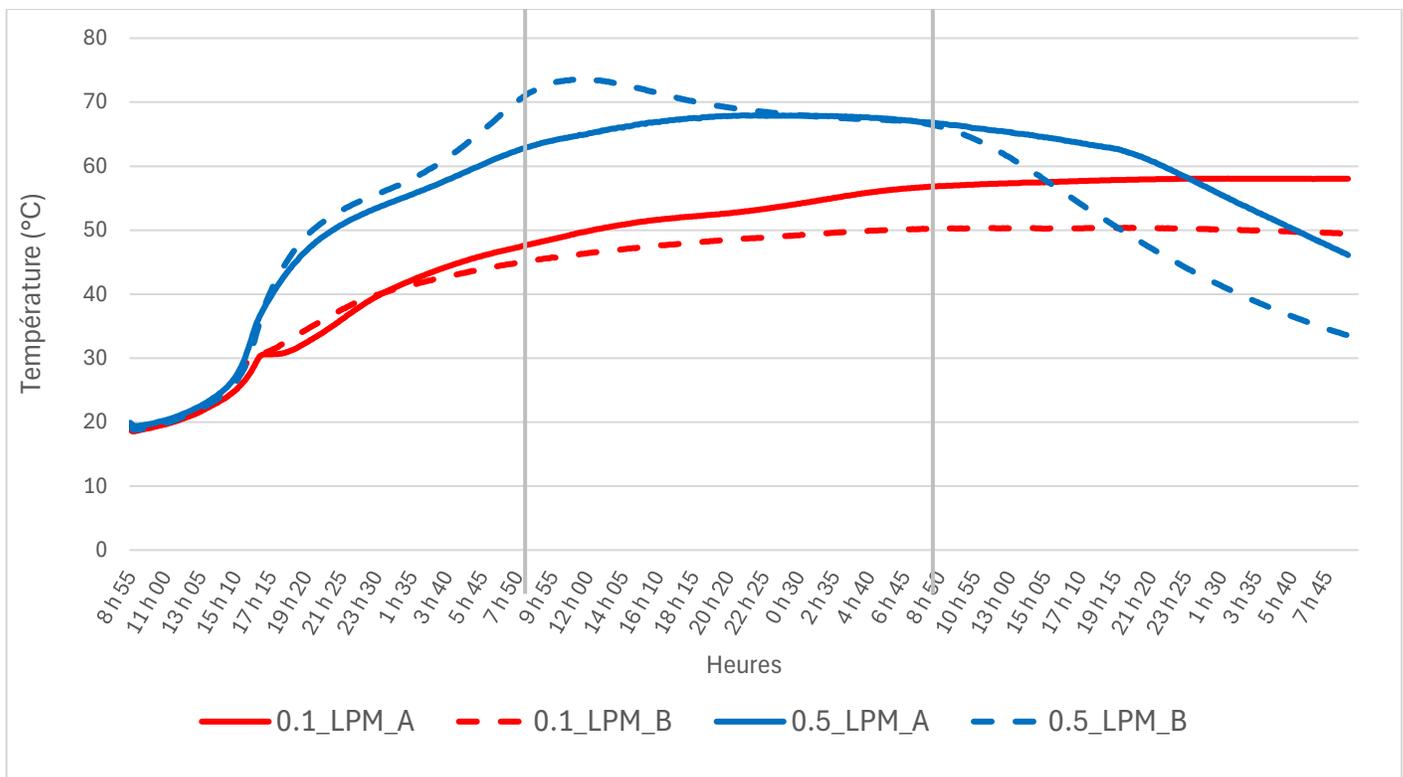
**Figure 46.** Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant un jour de compostage selon le taux d'aération en 2023.



**Figure 47.** Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant un jour de compostage selon le taux d'aération en 2024.



**Figure 48.** Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant trois jours de compostage selon le taux d'aération en 2023. Note. Les barres verticales représentent les périodes de 24 h.



**Figure 49.** Relevé des températures mesurées dans les biodigesteurs expérimentaux durant trois jours de compostage selon le taux d'aération en 2024. Note. Les barres verticales représentent les périodes de 24 h.

**Tableau 3.** Bilan des conditions de compostage au taux d'aération de 0,1 LPM.

Durée (jr)	Essai	Température maximale (°C)	Durée ≥ 55 °C (h)	Durée ≥ 70 °C (h)
1	2023	50,54	0	0
	2024	46,56	0	0
	2023	47,28	0	0
	2024	48,34	0	0
3	2023	60,19	42,4	0
	2024	58,07	30,7	0
	2023	65,32	30,3	0
	2024	50,37	0	0

**Tableau 4.** Bilan des conditions de compostage au taux d'aération de 0,5 LPM.

Durée (jr)	Essai	Température maximale (°C)	Durée ≥ 55 °C (h)	Durée ≥ 70 °C (h)
1	2023	68,02	8,8	0
	2024	71,60	11,1	1,3
	2023	65,24	7,6	0
	2024	65,98	8,3	0
3	2023	68,96	56,0	0
	2024	67,94	48,9	0
	2023	71,70	51,0	6,7
	2024	73,60	41,8	10,6

#### 4.3.2 Mélanges de souches bactériennes servant à la contamination

Les Figures 49 et 50 présentent les populations bactériennes mesurées dans le mélange ayant servi à contaminer artificiellement les litières. Un seuil de 6 Log<sub>10</sub> UFC/g de litière était visé par microorganisme. Étant donné que les populations bactériennes changent rapidement dans le temps et que la durée des traitements n'était pas la même, il fallait refaire un nouveau mélange à chaque fois. Pour cette raison, il y a un résultat associé à chaque traitement de compostage.

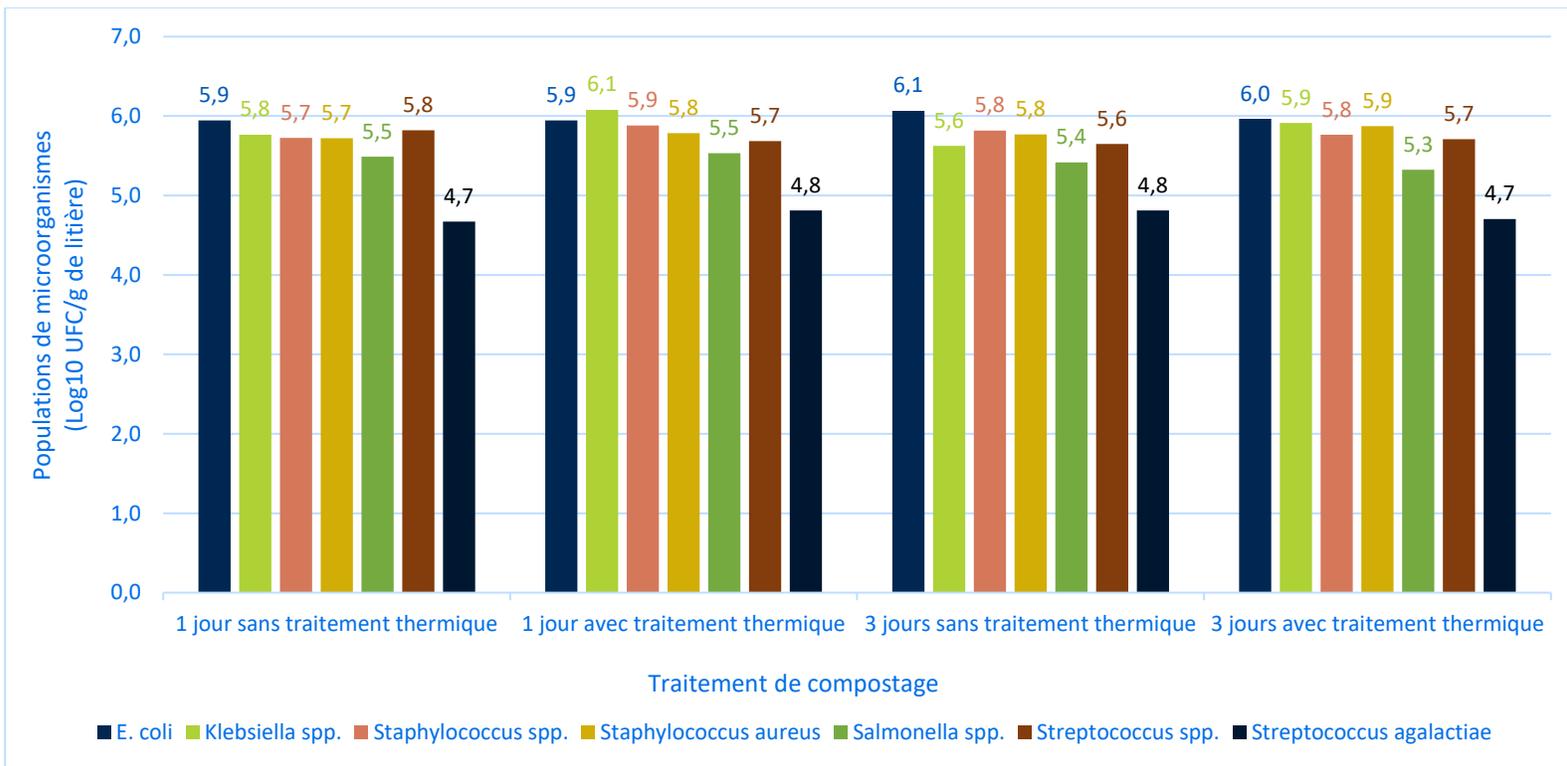


Figure 50. Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2023.

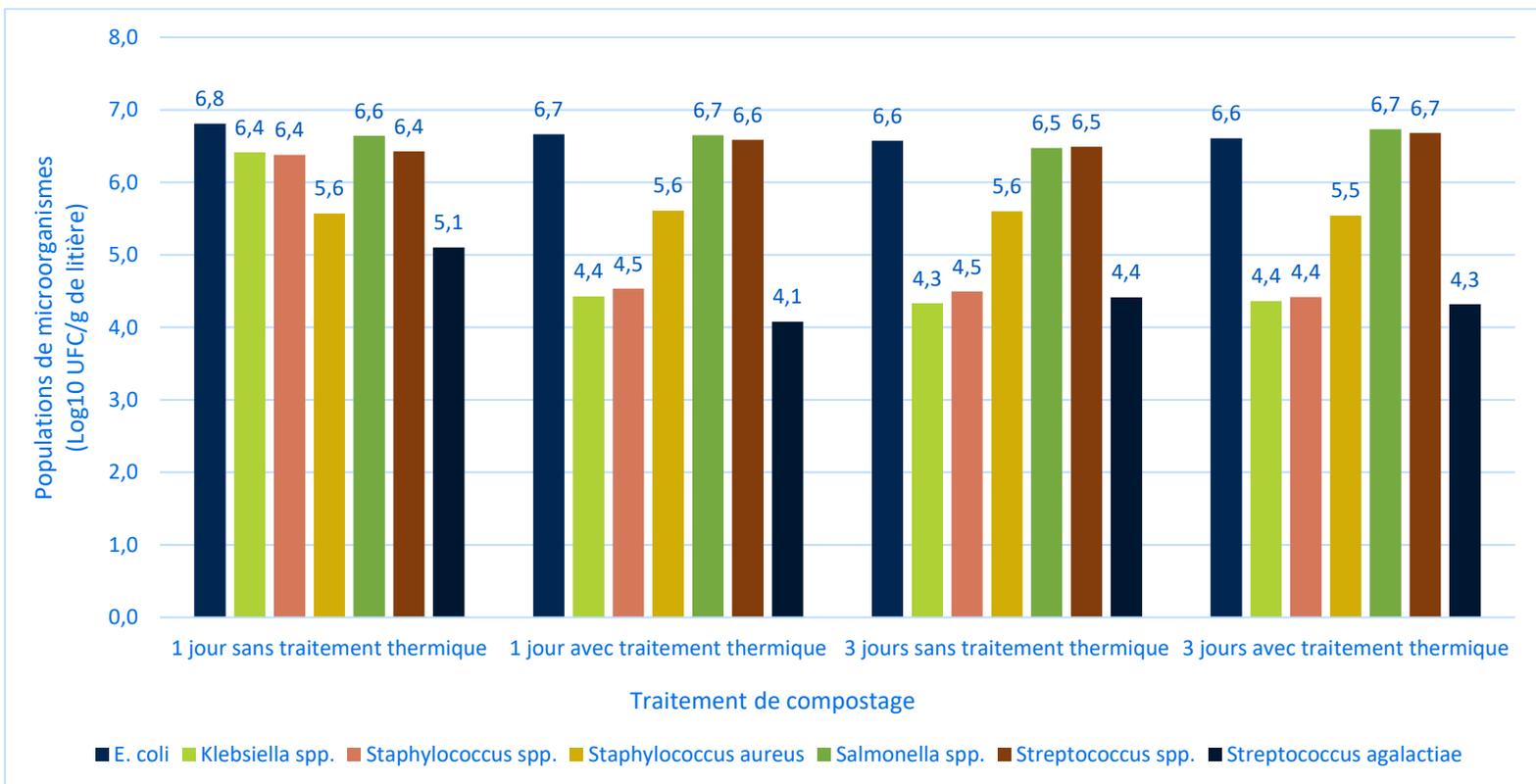
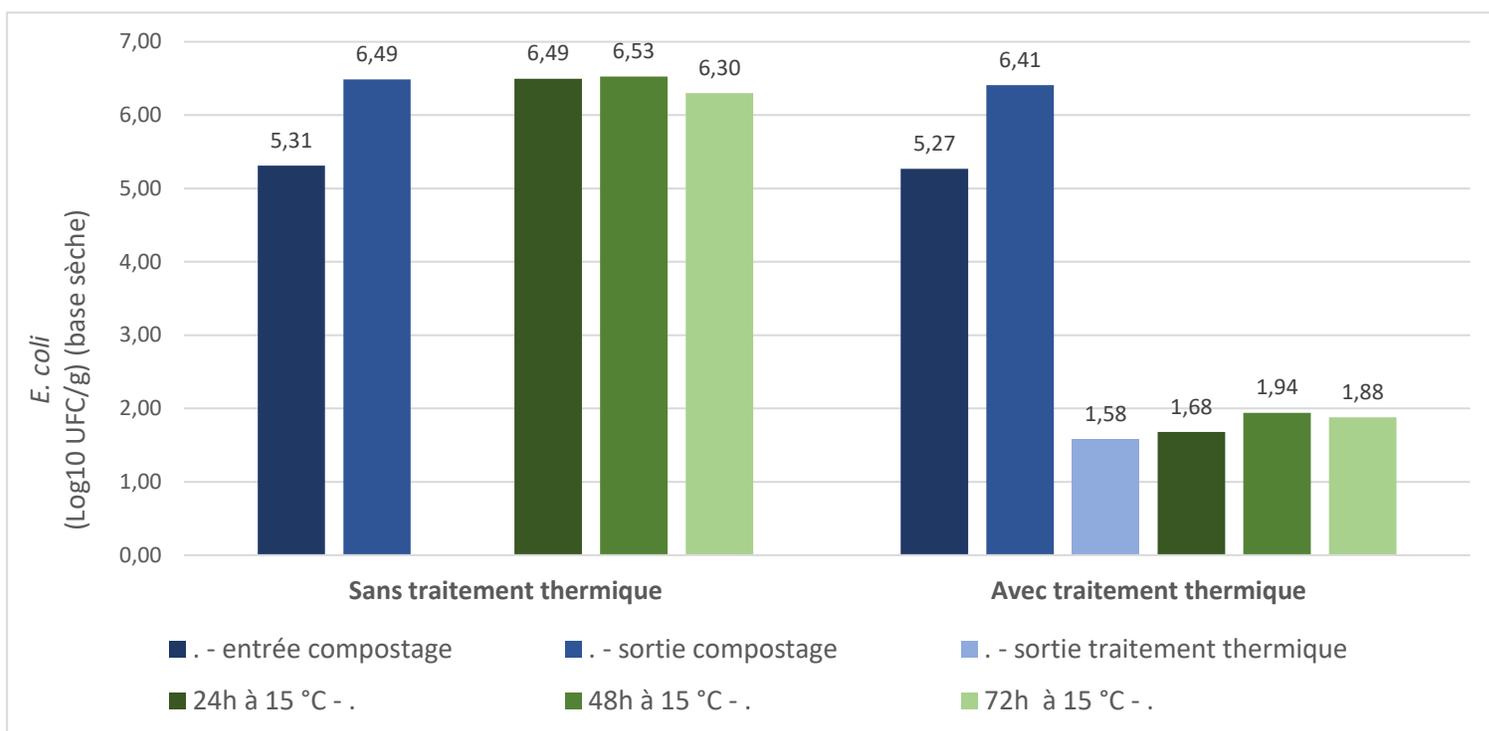


Figure 51. Populations de microorganismes mesurées dans le mélange servant à contaminer artificiellement les litières en 2024.

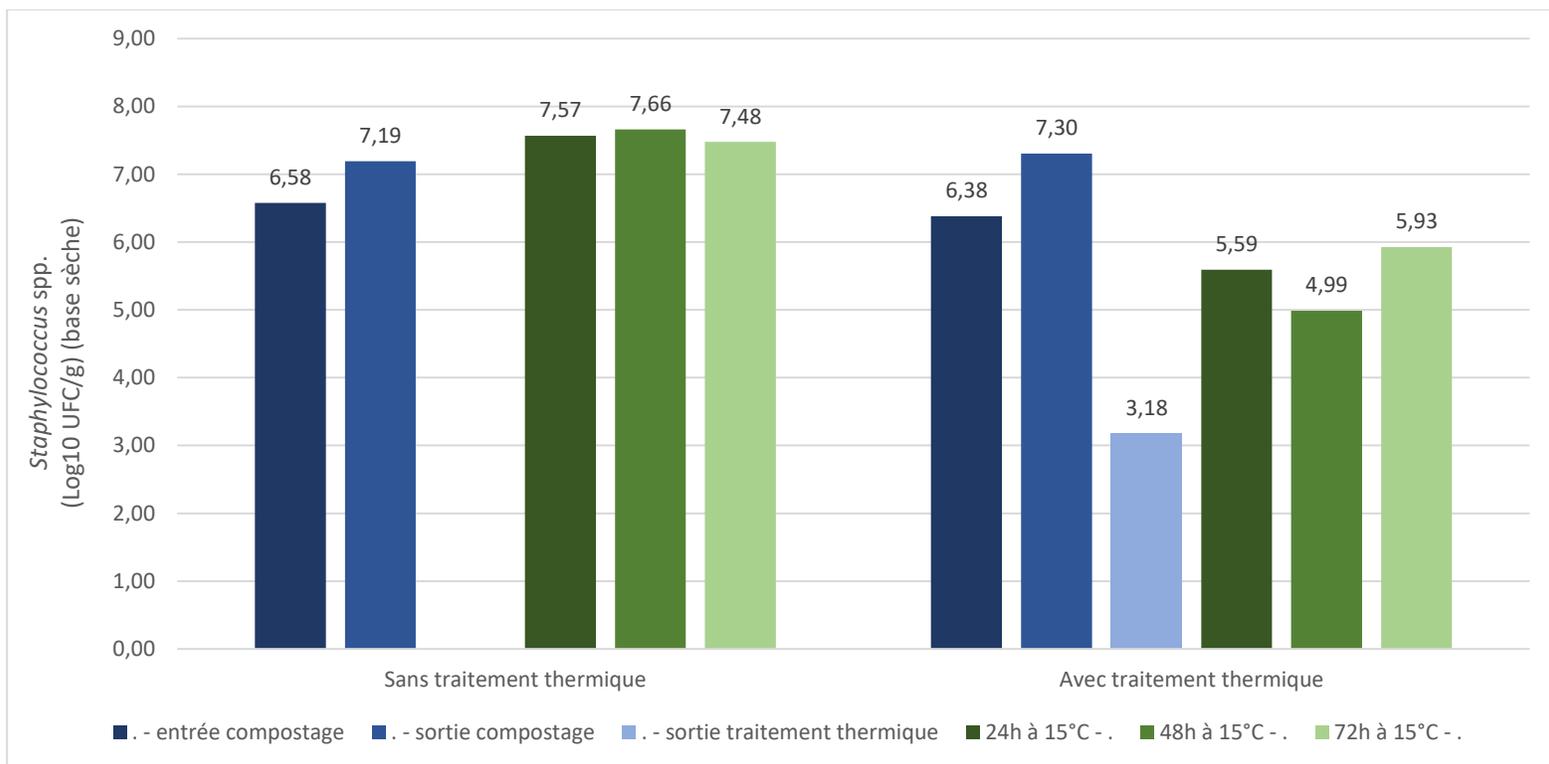
### 4.3.3 Traitement 1 jour à 0.1 LPM

Le traitement 1 jour à 0.1 LPM n'a pas permis de contrôler les populations de microorganismes analysés dans le cadre de cette étude. Au contraire, les dénombrements sont plus élevés à la sortie du compostage. Le traitement thermique a réussi à abattre les populations, mais sans les éliminer complètement. Les Figures 51 et 52 présentent les résultats pour *E. coli* et les staphylocoques, les autres graphiques étant présentés dans l'Annexe 5. La tendance observée est effectivement la même pour toutes les bactéries analysées. Il faut noter que durant ce traitement, les températures dans les biodigesteurs n'ont jamais atteint 55 °C.

Les graphiques dans cette section présentent à la fois l'impact des traitements de compostage (avec ou sans traitement thermique), ainsi que le devenir des populations bactériennes sur 3 jours à 15 °C, sans qu'il n'y ait eu de contamination artificielle.



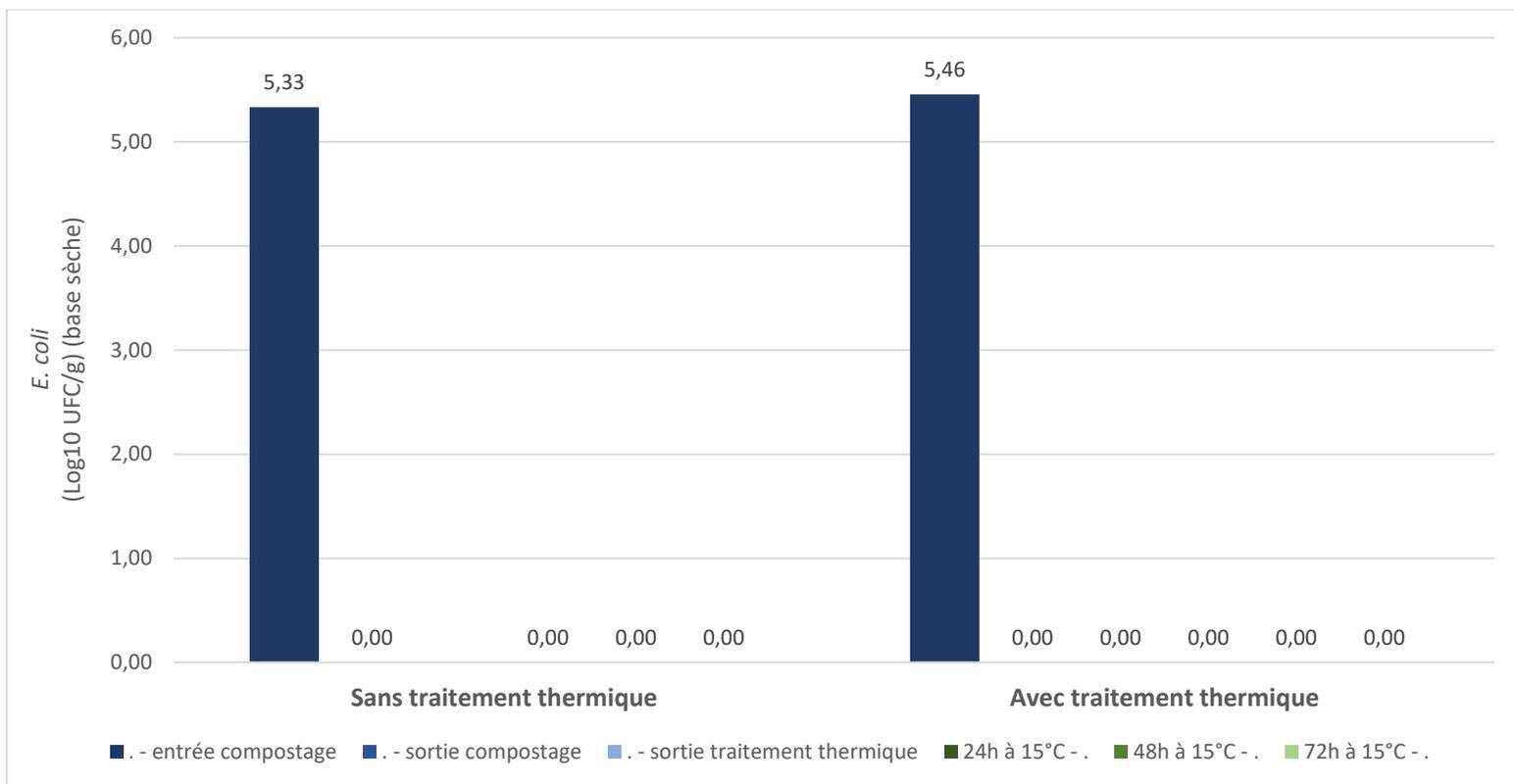
**Figure 52.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *E. coli* et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).



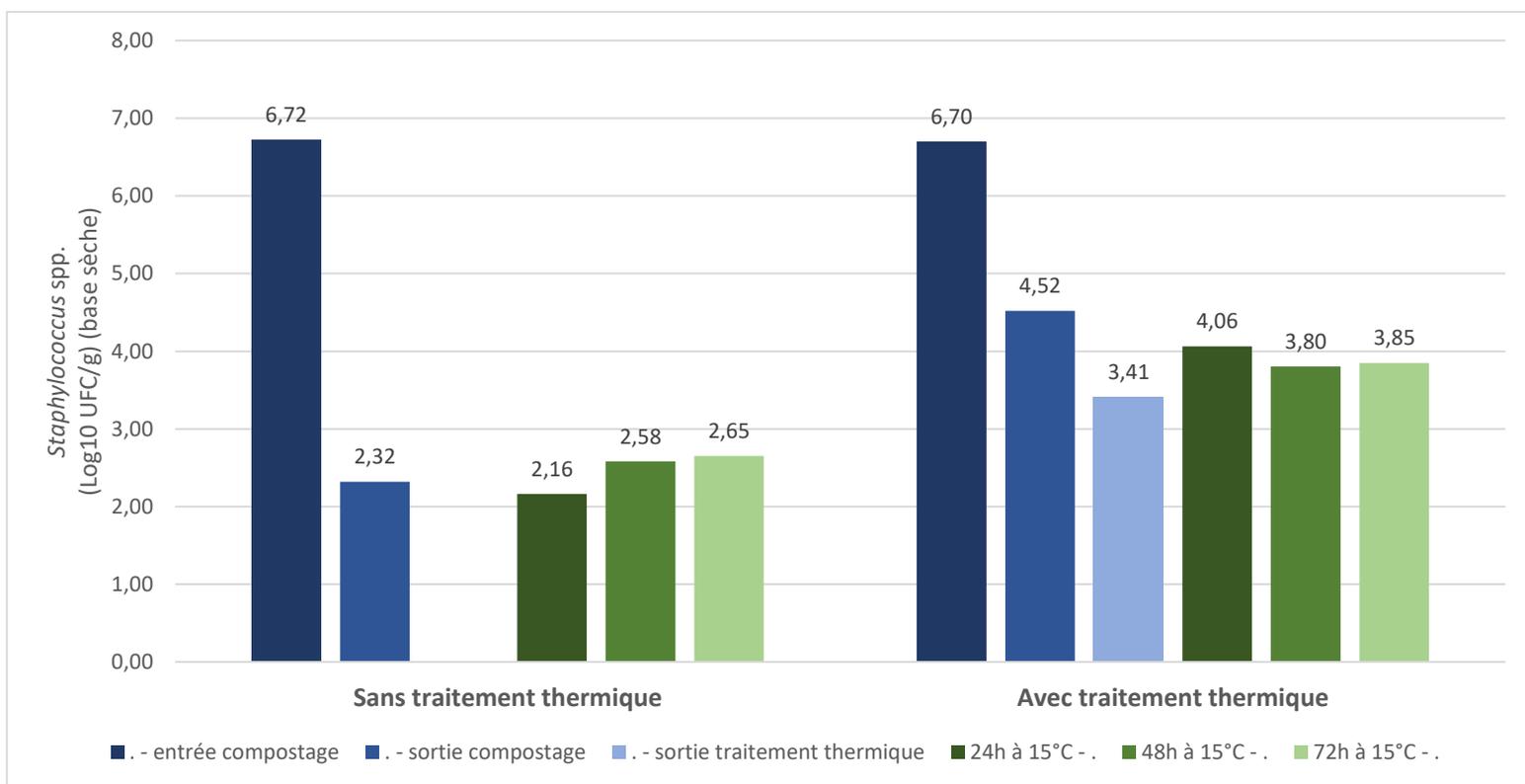
**Figure 53.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Staphylococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

#### 4.3.4 Traitement 1 jour à 0.5 LPM

Le traitement 1 jour à 0.5 LPM a permis de contrôler certains types de microorganismes, soit les *E. coli* (Figure 53), les coliformes totaux et les *Klebsiella* spp. Les températures dans les biodigesteurs sans et avec traitement thermique ont dépassé 55 °C durant 14 et 8 h, respectivement. Cependant, cela n'a pas été suffisant pour contrôler les *Staphylococcus* spp. (Figure 54) et les *Streptococcus* spp, le traitement thermique ayant aussi eu un effet léger sur l'abattement de ces bactéries. Les autres graphiques sont présentés à l'Annexe 5. Ainsi, la ventilation plus élevée a permis de faire monter les températures au-delà de 55 °C durant quelques heures, ce qui a eu un effet assainissant.



**Figure 54.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *E. coli* et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

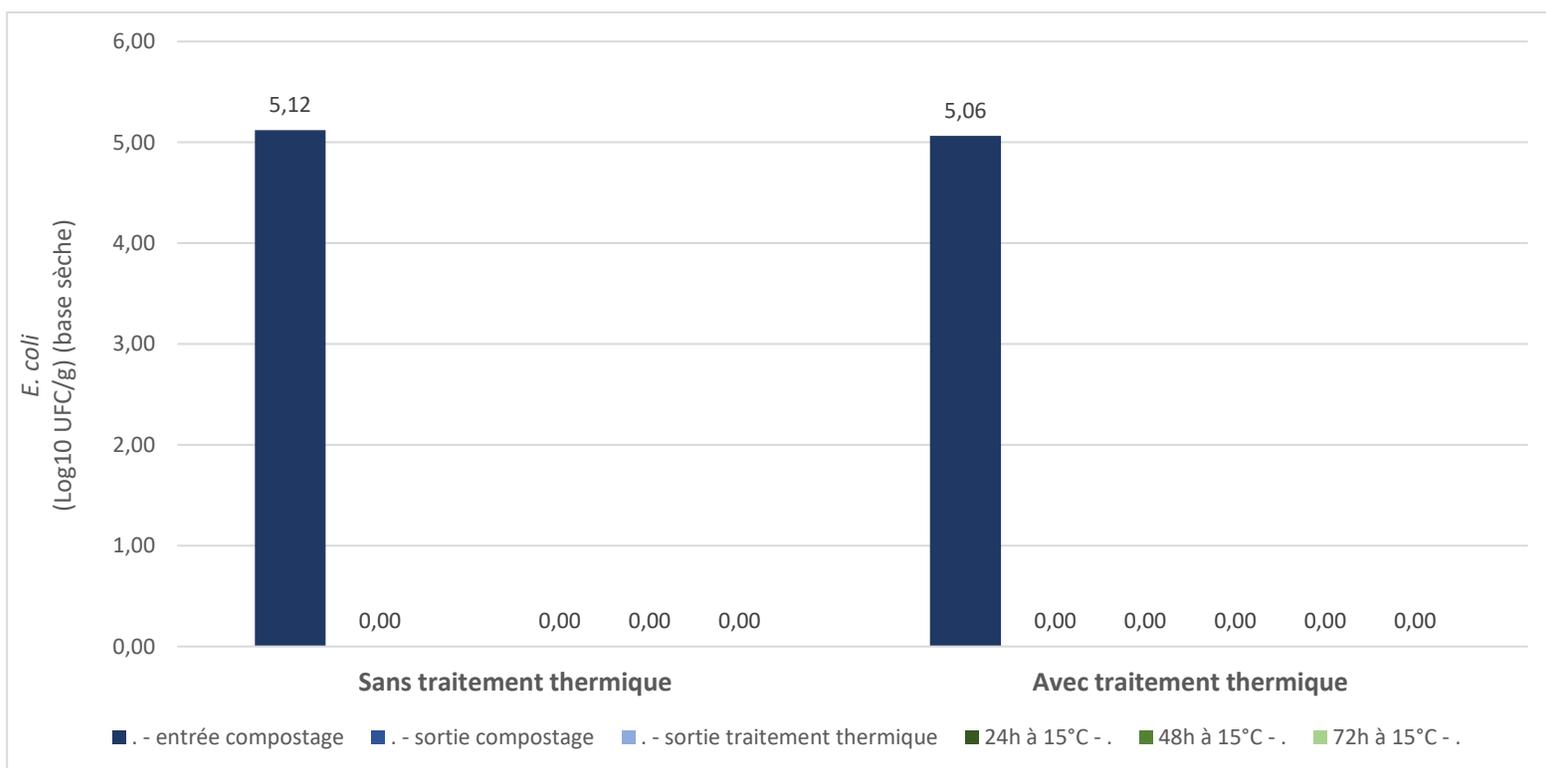


**Figure 55.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Staphylococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

### 4.3.5 Traitement 3 jours à 0.1 LPM

#### 2023

En 2023, le compostage à 0.1 LPM durant trois jours a été efficace à enrayer tous les microorganismes, rendant par le fait même le traitement thermique inutile. Les températures mesurées dans les biodigesteurs sans et avec traitement thermique ont dépassé les 55 °C durant 42 et 30 h, respectivement. La Figure 55 présente le graphique pour les *E. coli*, alors que les autres se trouvent à l'Annexe 5. Ainsi, lorsque le taux de ventilation est bas, il faut augmenter la durée d'exposition pour laisser le temps aux microorganismes responsables du compostage de proliférer, ce qui induit une augmentation des températures. À première vue, il semble qu'une durée de 30 à plus de 55 °C soit suffisante, mais les délais précis semblent toutefois encore à définir, puisque l'essai de 2024 a généré des résultats différents.

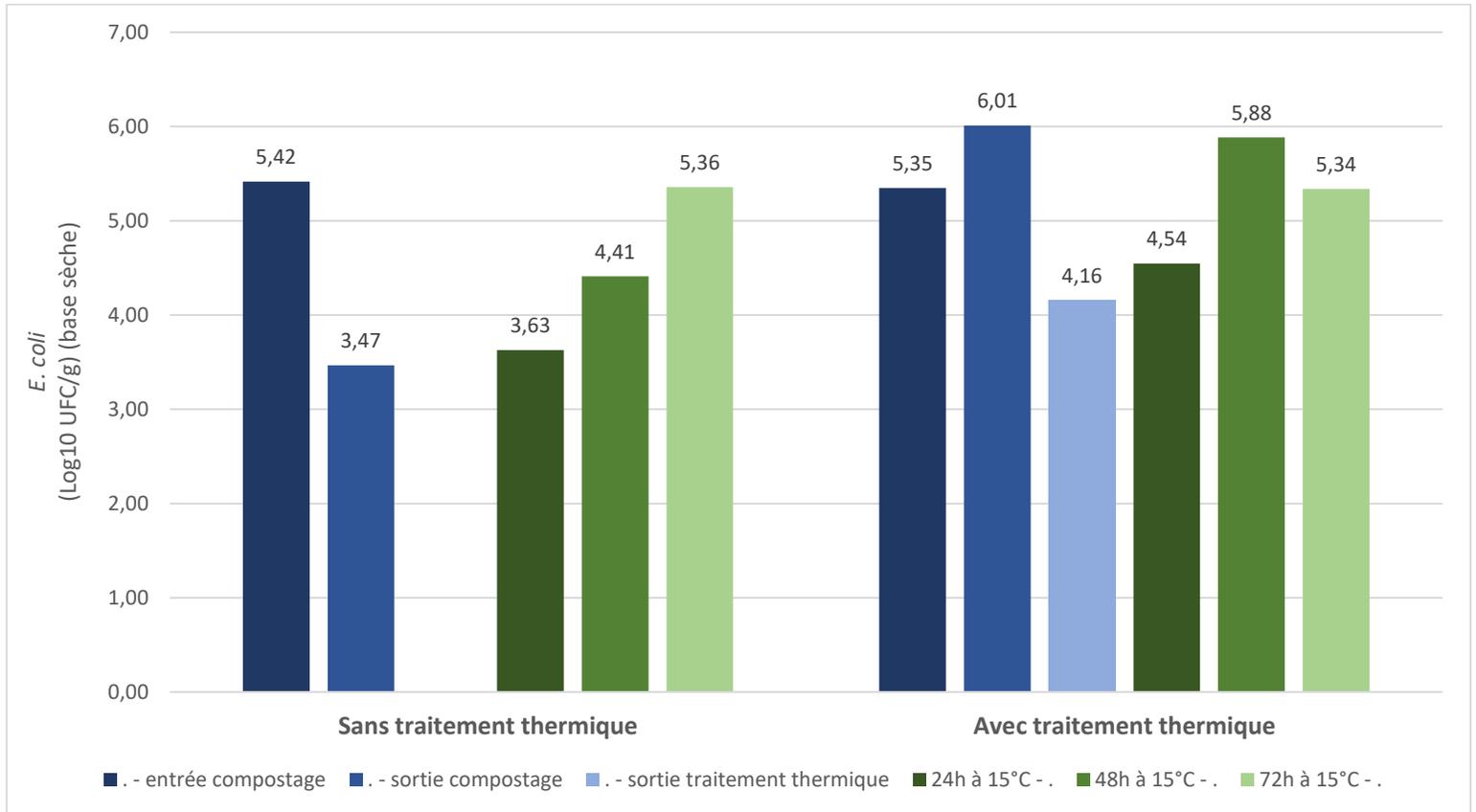


**Figure 56.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *E. coli* et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.

#### 2024

Une partie des essais de 2024 ont en effet indiqué qu'une durée de 30 h à plus de 55 °C n'est pas toujours suffisante pour abattre les populations bactériennes. Pour des populations initiales semblables, 31 h à plus de 55 °C n'ont pas enrayeré les *E. coli* (Figure 56 – biodigesteur sans traitement thermique), alors que 30 h en 2023 avaient suffi. Il semble donc qu'il y ait encore une grande variabilité dans l'efficacité associée à ce délai. Il y a par ailleurs eu une légère recroissance des microorganismes sur trois jours à la suite de ce traitement de compostage, que ce soit avec ou sans traitement thermique.

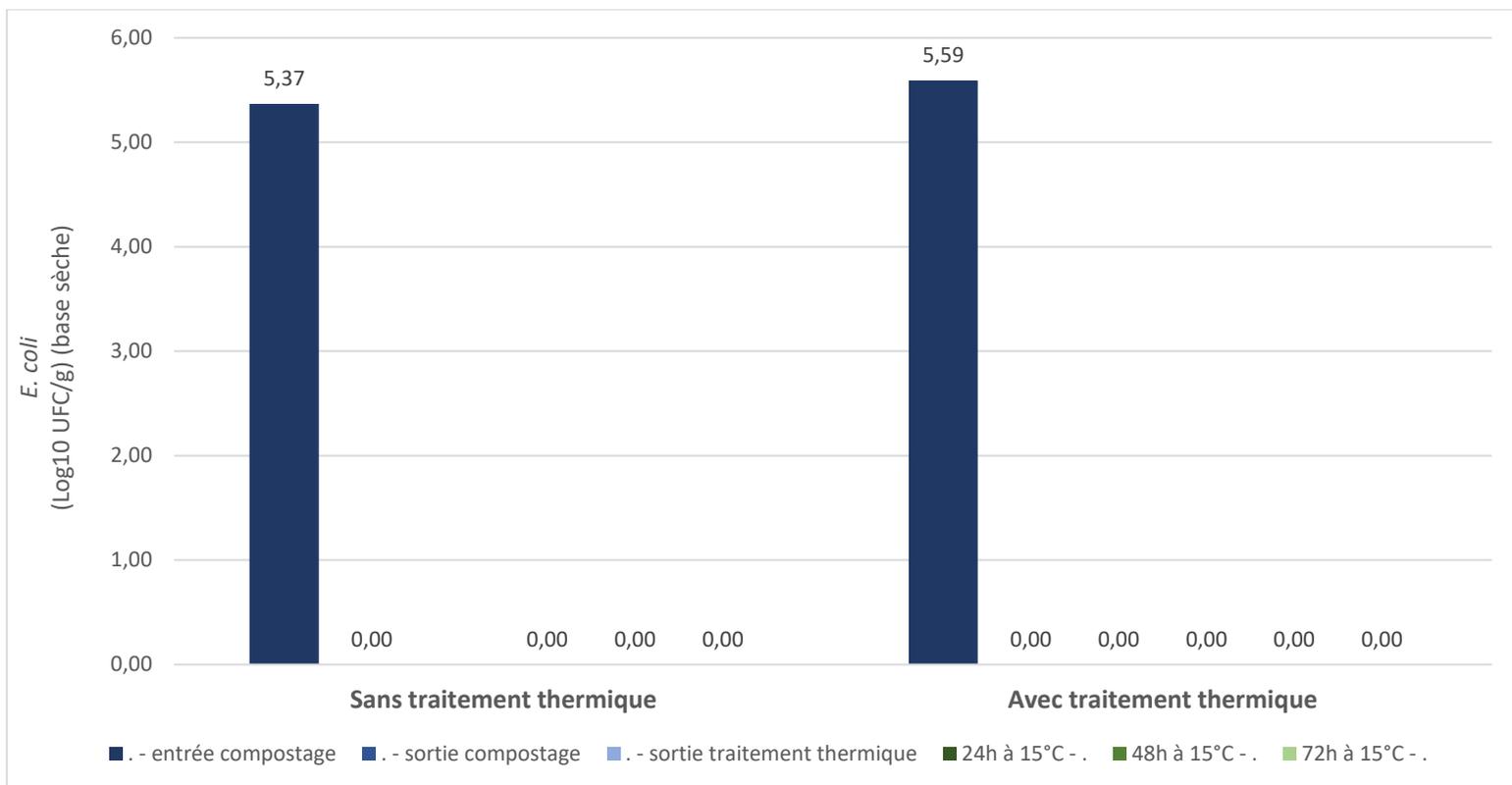
Les graphiques des autres microorganismes, qui présentent d'ailleurs la même tendance que pour les bactéries *E. coli*, sont présentés à l'Annexe 5.



**Figure 57.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *E. coli* et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.

#### 4.3.6 Traitement 3 jours à 0.5 LPM

Tel qu'attendu, le traitement 3 jours à 0.5 LPM a été efficace à abattre tous les microorganismes, et aucune recroissance n'a été mesurée à la suite de l'incubation de la litière durant trois jours. Dans ce traitement, les températures ont dépassé les 55 °C durant 52 h pour le biodigester sans traitement thermique. Dans le cas du biodigester avec traitement thermique, les 55 °C ont été dépassés durant 46 h, incluant près de 9 h au-delà de 70 °C. La Figure 57 présente les résultats pour *E. coli*, les autres graphiques étant présentés à l'Annexe 5.



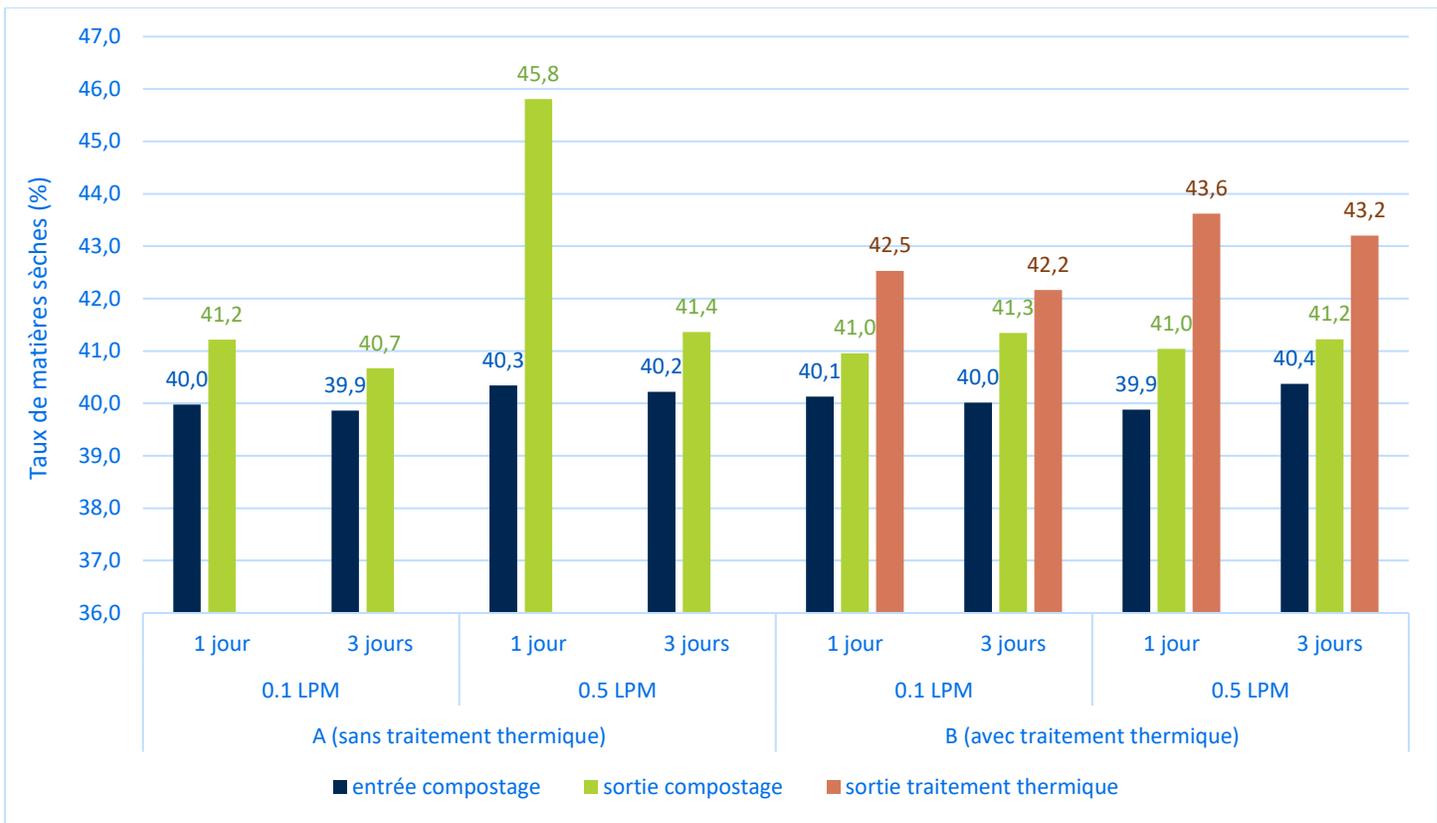
**Figure 58.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *E. coli* et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).

#### 4.3.7 Matières sèches, azote total et pH

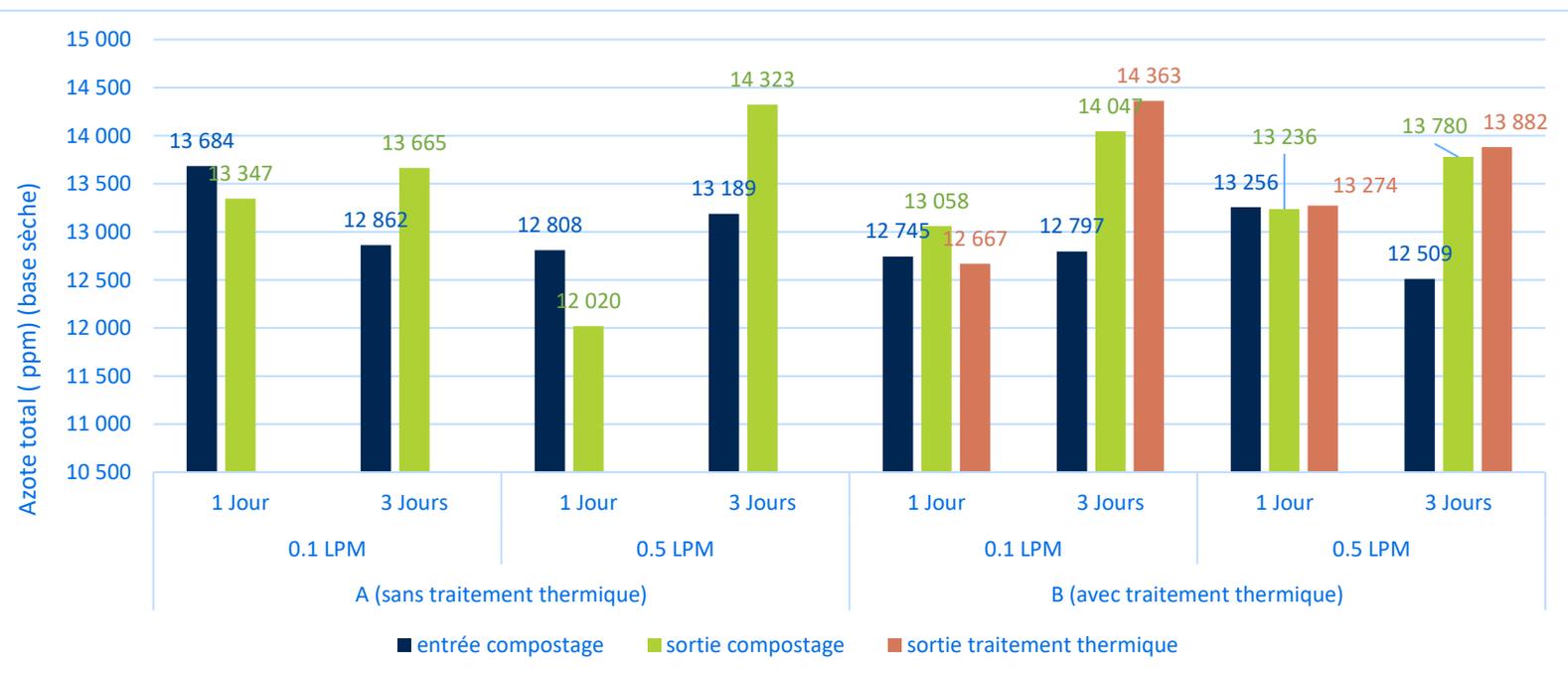
Les Figures 58, 59 et 60 présentent respectivement les résultats de matières sèches, de pH et d'azote total mesurés dans les litières avant et après compostage, et après le traitement thermique selon la durée de compostage et la ventilation. Il est intéressant de noter que le taux de matières sèches était déjà relativement élevé avant le compostage (autour de 40 %), et qu'il n'augmente d'environ 1 ou 2 % dans la majorité des cas. Il était attendu que les litières s'assèchent davantage, particulièrement à la suite du traitement thermique.

Le contenu en azote total a été plutôt variable selon les traitements, bien qu'une légère hausse ait été mesurée à la sortie du compostage. Il est possible que les processus biologiques en cours durant celui-ci aient modifié les formes d'azote qui sont devenues mesurables en fin de procédé. Le traitement thermique n'a pas fait changer les niveaux d'azote dans les litières.

Finalement et tel qu'attendu, le processus de compostage, lorsque les températures sont conformes comme dans les traitements sur trois jours, acidifie légèrement la litière, signe de l'activité biologique qui s'y déroule.



**Figure 59.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur le taux de matières sèches selon le temps de séjour et le taux de ventilation.



**Figure 60.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur l'azote total selon le temps de séjour et le taux de ventilation.

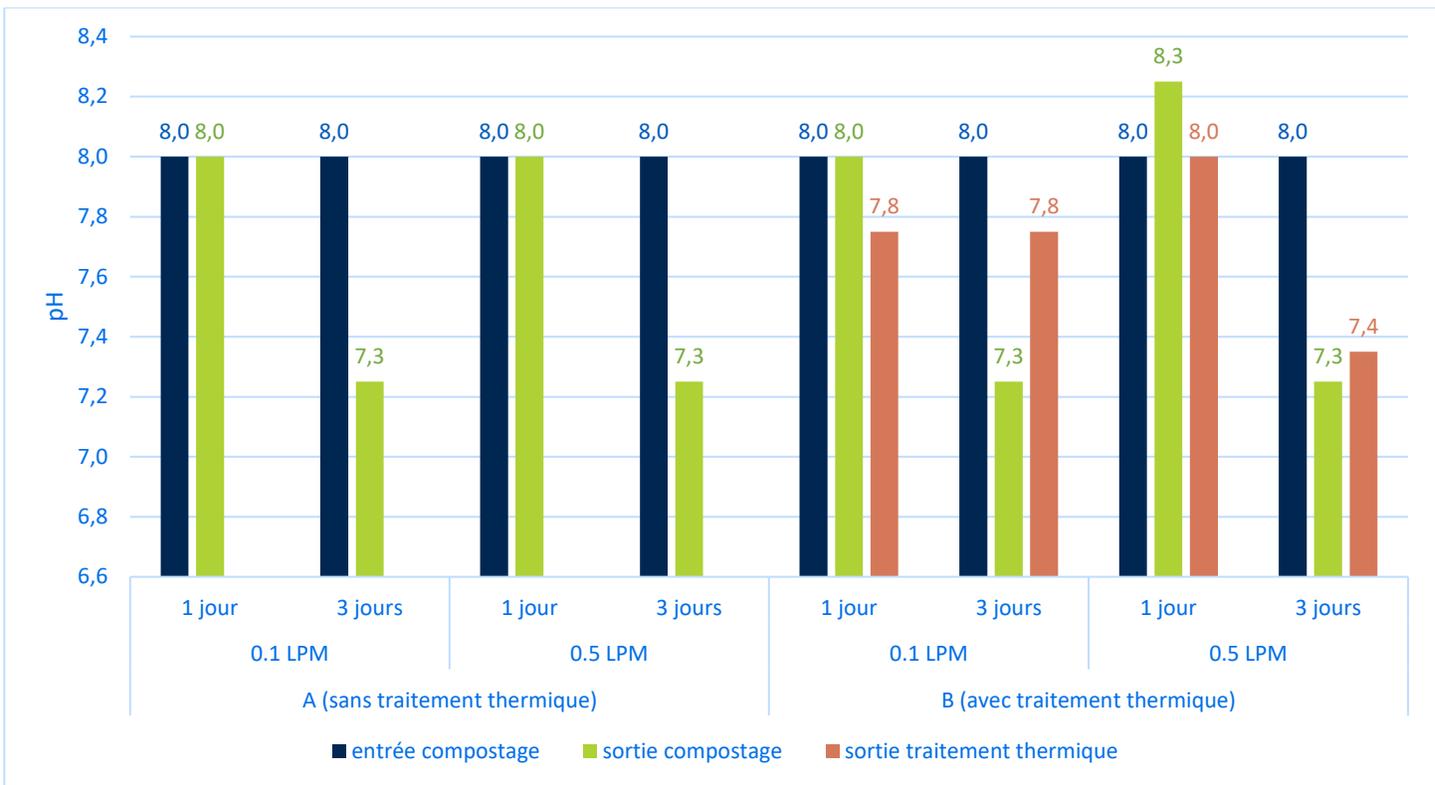


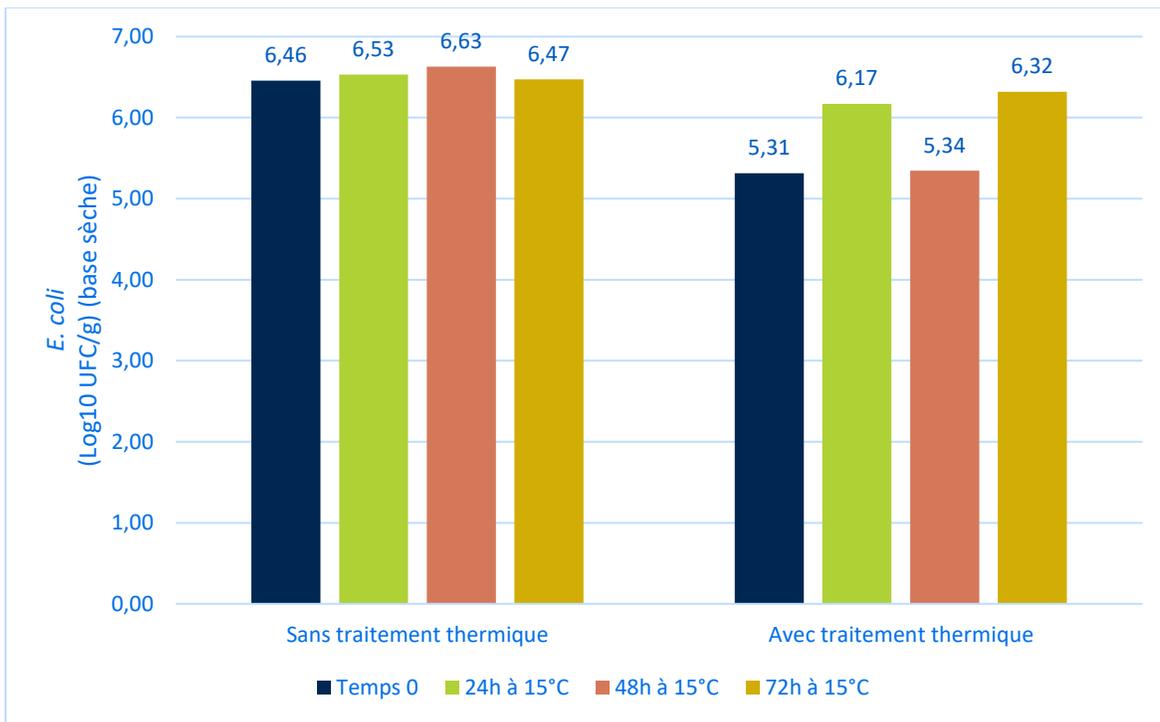
Figure 61. Effet du compostage et du post-traitement thermique sur le pH selon le temps de séjour et le taux de ventilation.

#### 4.4 VOLET 2c – POTENTIEL DE RECROISSANCE DES MICROORGANISMES DANS LES LITIÈRES TRAITÉES EN BIODIGESTEURS EXPÉRIMENTAUX SUITE À UNE CONTAMINATION ARTIFICIELLE

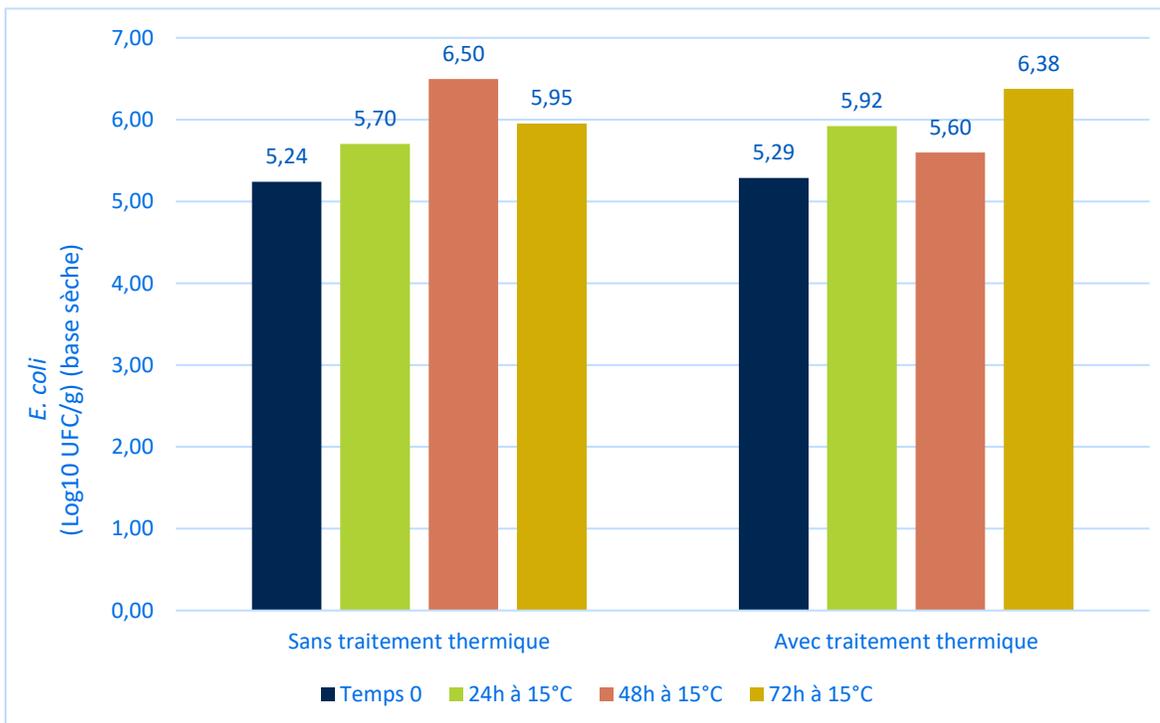
Suite à la contamination artificielle des litières préalablement compostées en biodigesteurs, le comportement des populations bactériennes a été sensiblement le même dans tous les traitements, c'est-à-dire qu'elles sont demeurées relativement stables sur les 3 jours d'incubation à 15 °C. Une recroissance un peu plus grande peut être observée dans les litières compostées durant 3 jours, puisque les populations ont augmenté d'environ 2 Log<sub>10</sub> au lieu de rester stables, mais l'impact est minime. Il ne semble pas non plus y avoir d'impact clair du traitement thermique pour un même traitement de compostage, mais la même tendance quant à la recroissance un peu plus élevée dans les litières compostées durant trois jours peut aussi être observée.

Aucune litière ne s'est particulièrement démarquée quant à sa résilience à supporter ou non la croissance des microorganismes.

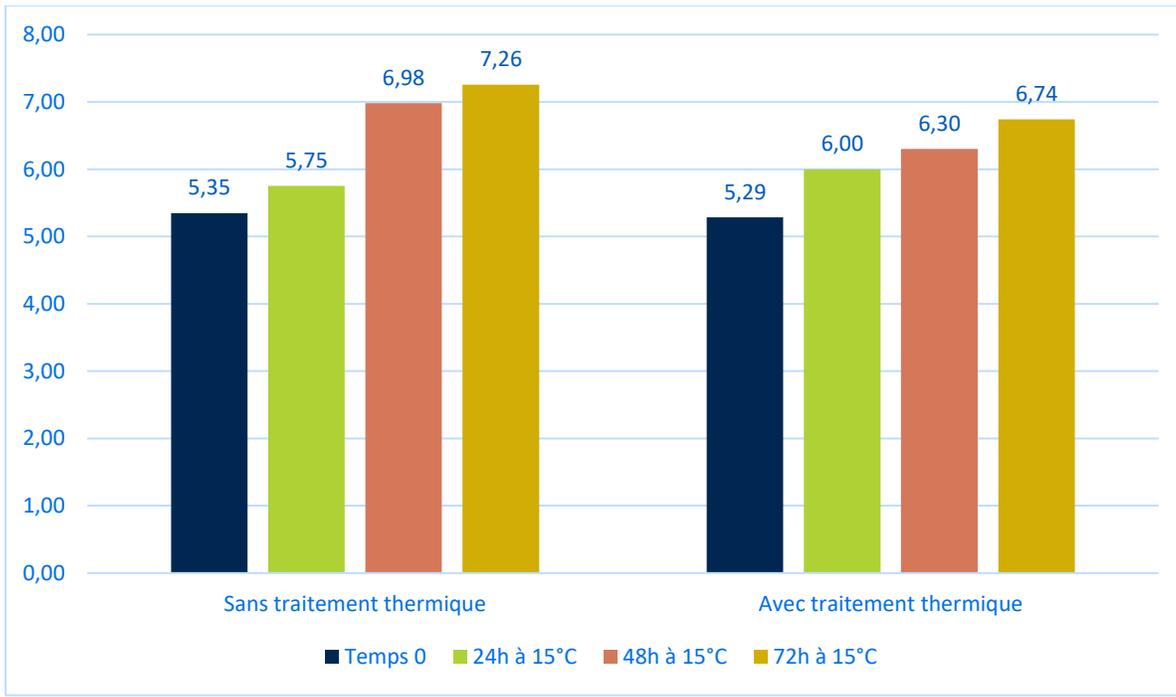
Les Figures 61 à 64 présentent les résultats pour les bactéries *E. coli*. Les autres graphiques sont présentés à l'Annexe 6.



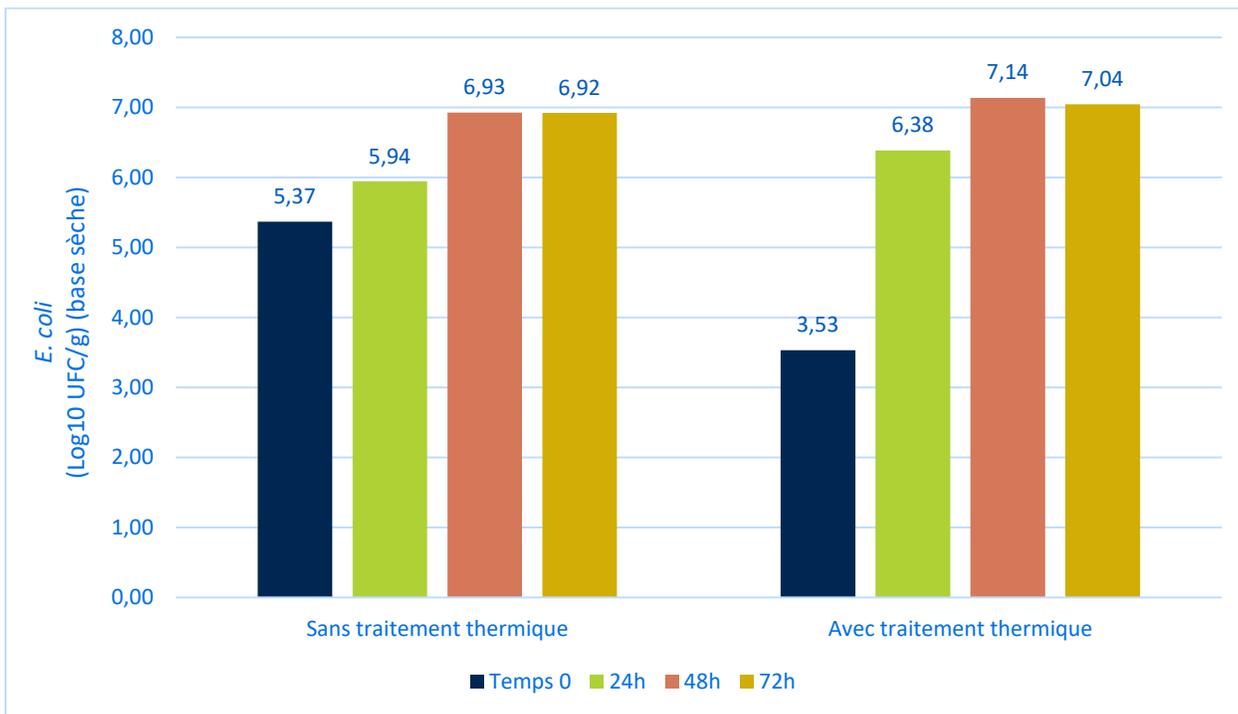
**Figure 62.** Devenir des populations d'*E. coli* dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 1 jour à 0.1 LPM).



**Figure 63.** Devenir des populations d'*E. coli* dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 1 jour à 0.5 LPM).



**Figure 64.** Devenir des populations d'*E. coli* dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 3 jours à 0.1 LPM).



**Figure 65.** Devenir des populations d'*E. coli* dans la litière contaminée artificiellement et entreposée 3 jours à 15 °C (traitement 3 jours à 0.5 LPM).

## 5 CONCLUSION

Les caractérisations en entreprises ont permis de constater que les staphylocoques résistent particulièrement au processus de compostage, puisqu'ils ont été détectés dans les trois systèmes. Le composteur industriel a cependant permis un meilleur abattement des populations.

Les essais en laboratoire ont démontré qu'un compostage de trois jours avec une ventilation de 0,5 LPM permettait le contrôle absolu des microorganismes. À 0,1 LPM, une durée d'au moins 42 heures à plus de 55 °C a permis le même contrôle. Un temps de séjour d'un jour n'a pas été suffisant pour contrôler tous les microorganismes, les staphylocoques ayant particulièrement résisté. Ces essais ont également permis de constater qu'un post-traitement thermique à 80 °C avait provoqué une réduction supplémentaire des populations bactériennes, sans toutefois les éradiquer complètement.

Aucune tendance claire n'a été observée quant au potentiel de recroissance des microorganismes selon les traitements de compostage soumis aux litières. Les populations sont de façon générale demeurées stables sur les trois jours d'incubation à 15 °C. Bien que des essais antérieurs aient montré que le compostage pouvait favoriser des conditions défavorables à la survie et à la multiplication des microorganismes fécaux, cette étude n'a pas démontré ce même effet. Le traitement de la litière permet d'assainir celle-ci, réduisant par le fait même la durée d'exposition des bovins laitiers aux microorganismes potentiellement pathogènes. Des études futures permettront de déterminer les conditions réduisant la persistance des microorganismes potentiellement pathogènes dans la litière contaminée par les bovins.



## **Annexe 1**

Potentiel de recroissance des microorganismes dans les  
litières prélevées en entreprises

Ferme A

# Liste des Figures

**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 1

**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2

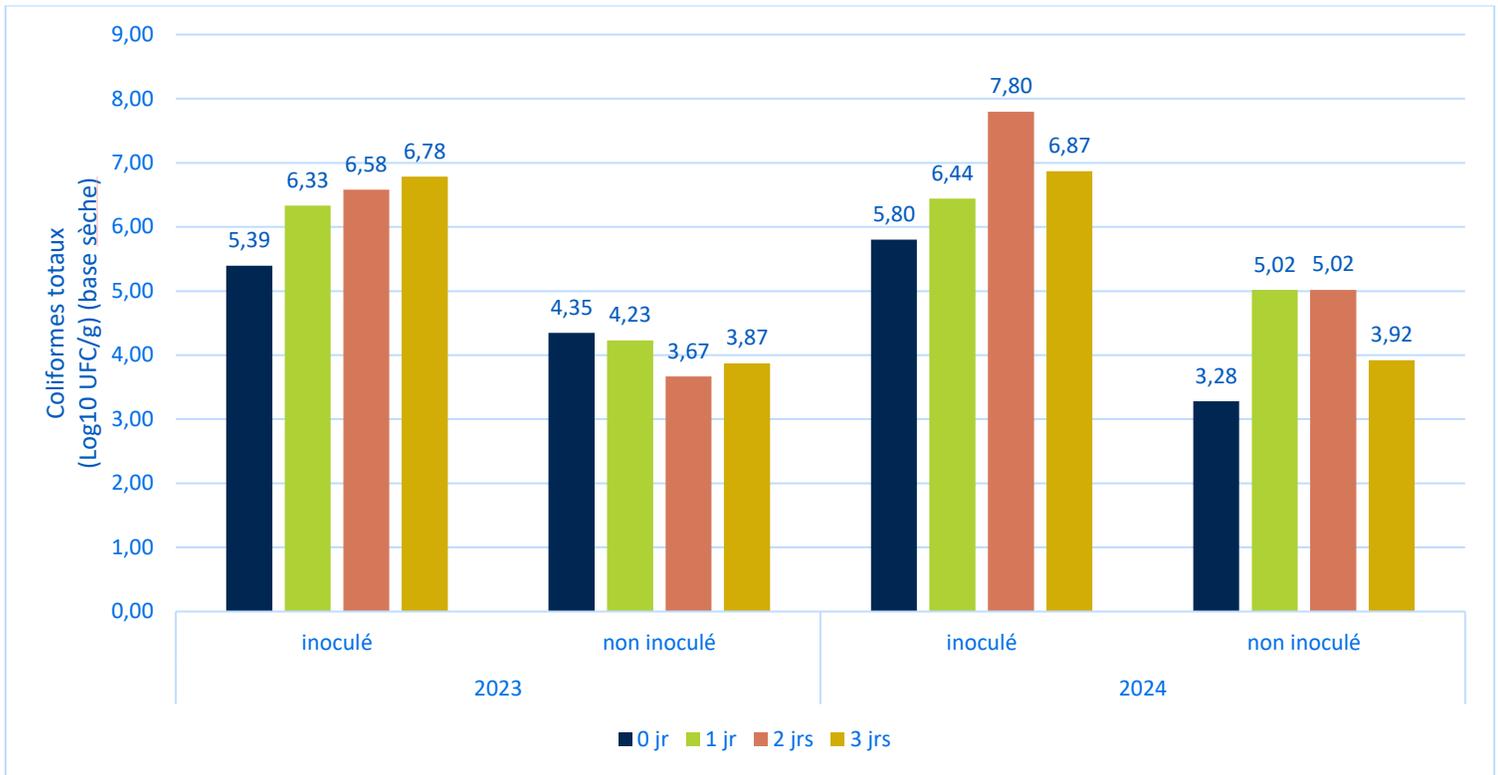
**Figure 3.** Populations de *Streptococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2

**Figure 4.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 3

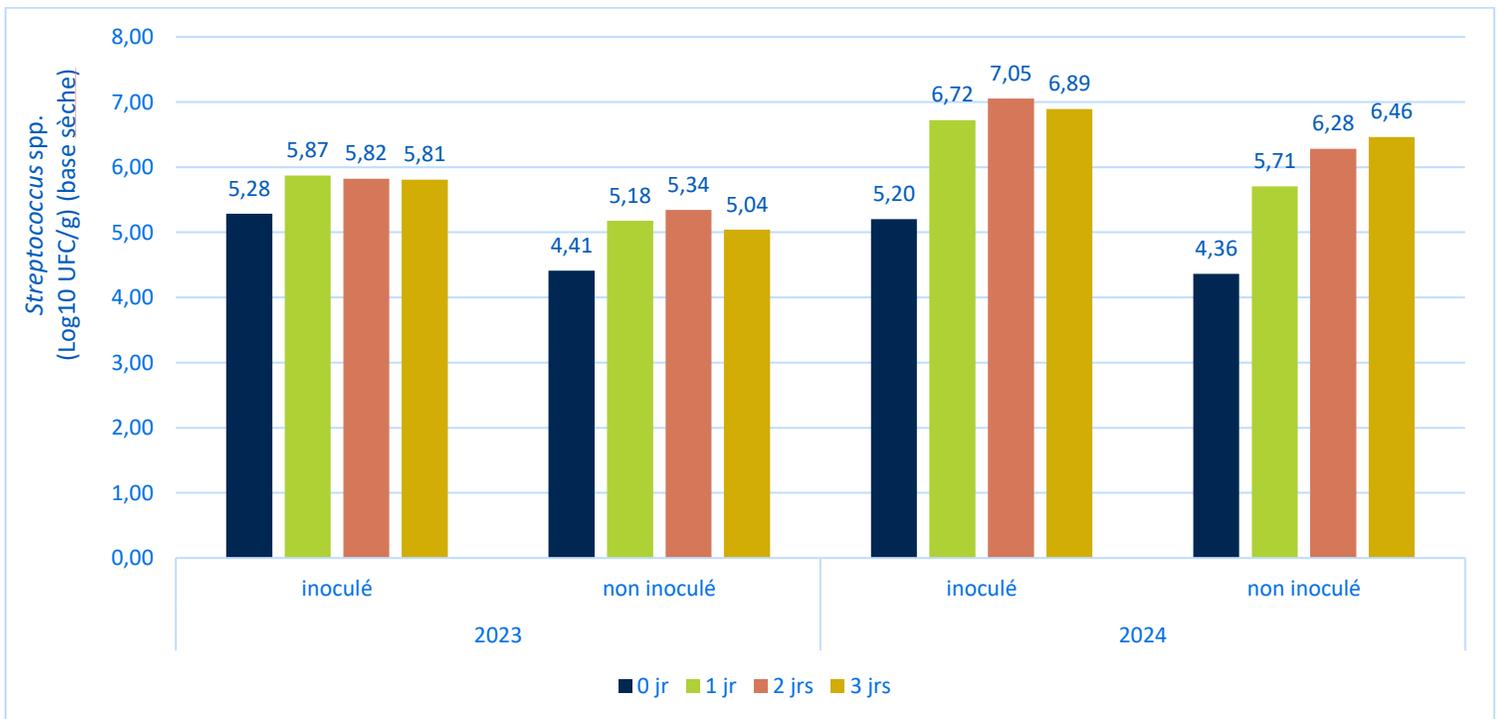
**Figure 5.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 3



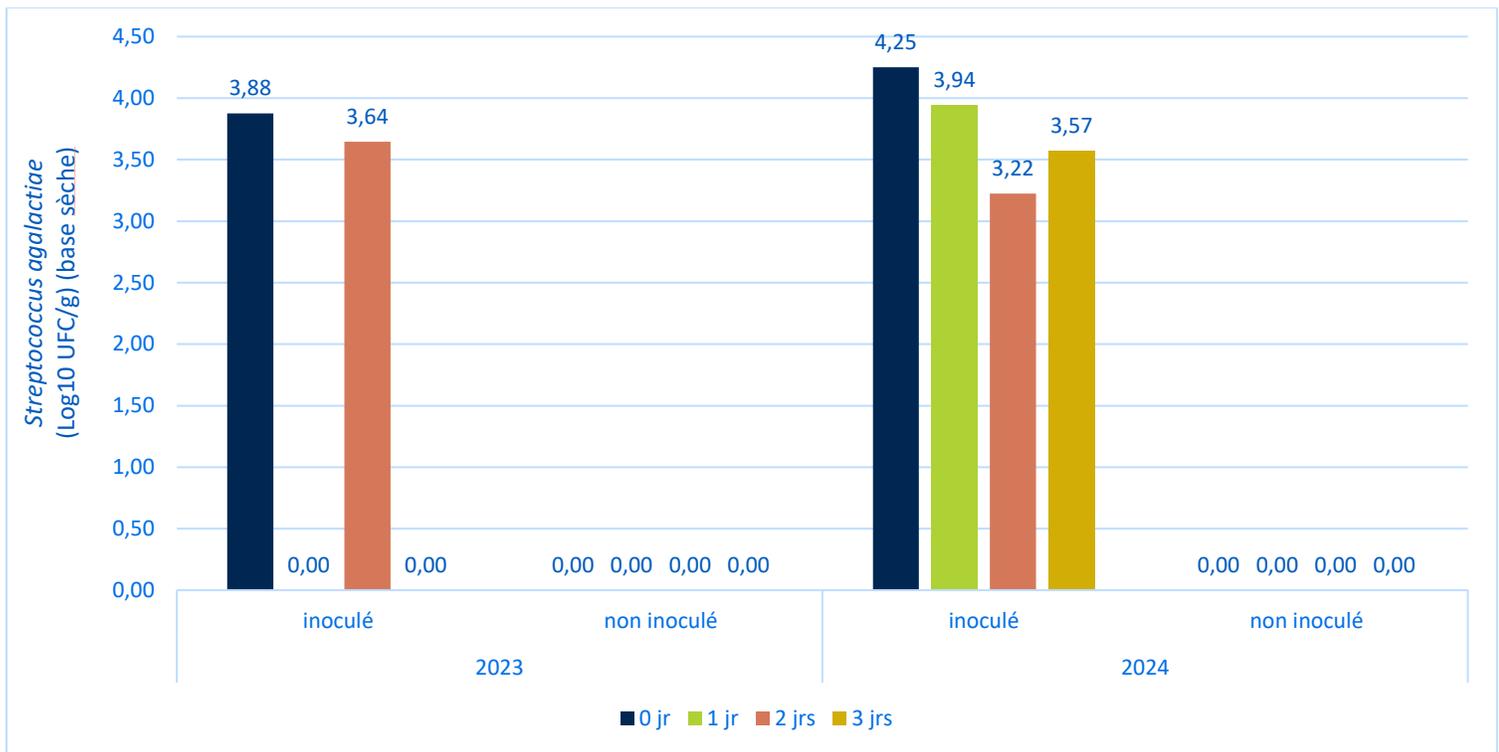
**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



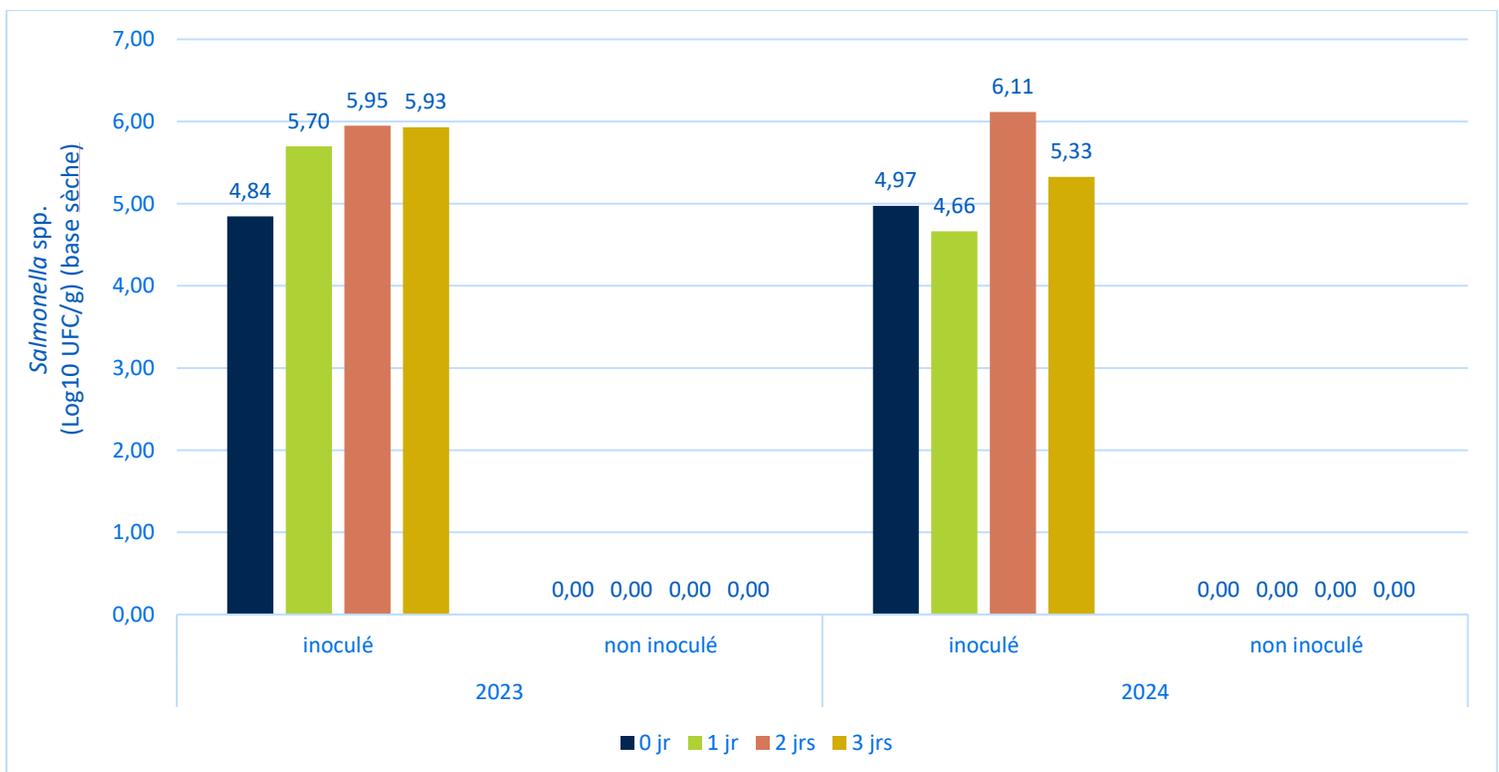
**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 3.** Populations de *Streptococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 4.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 5.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme A inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



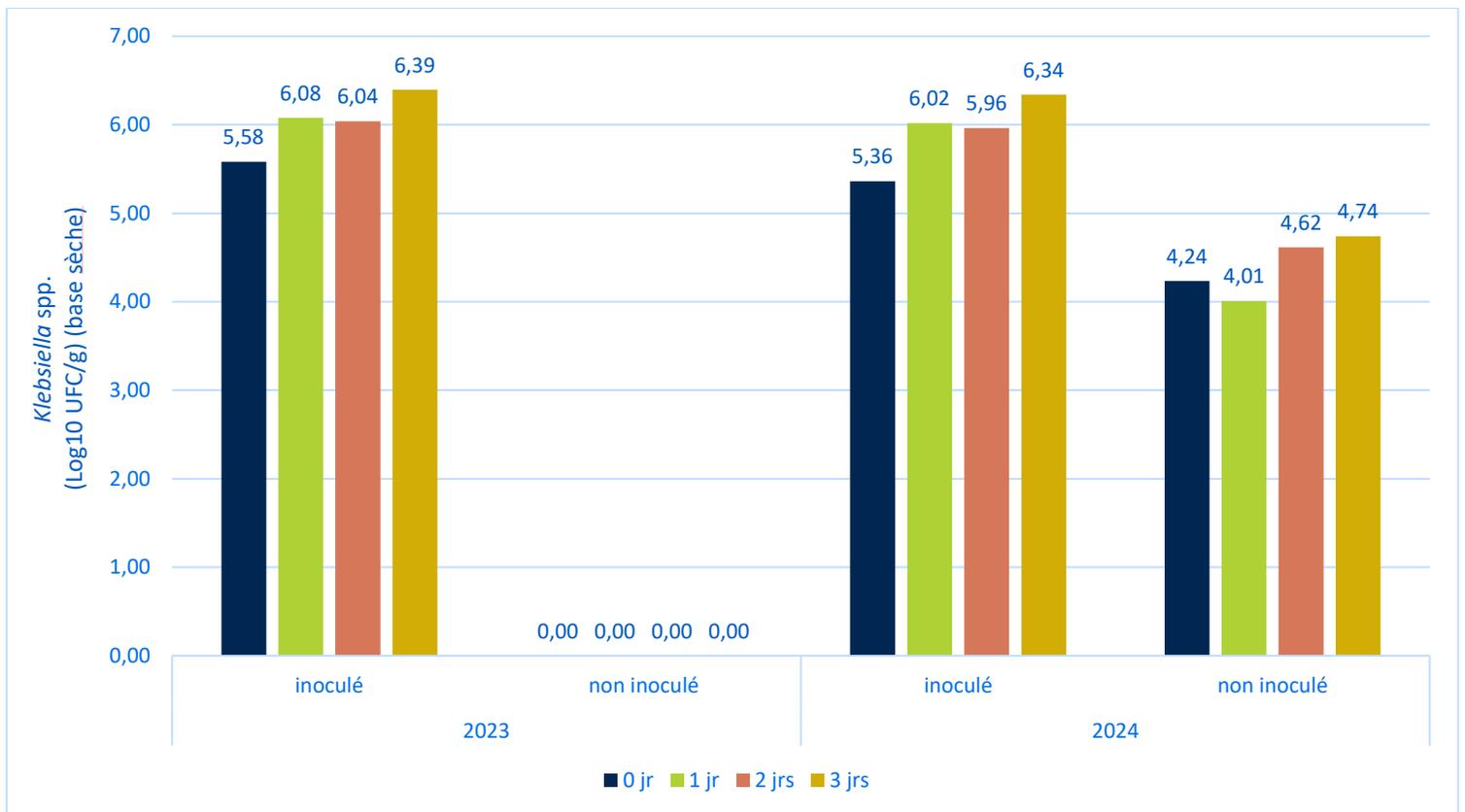
## **Annexe 2**

Potentiel de recroissance des microorganismes dans les  
litières prélevées en entreprises

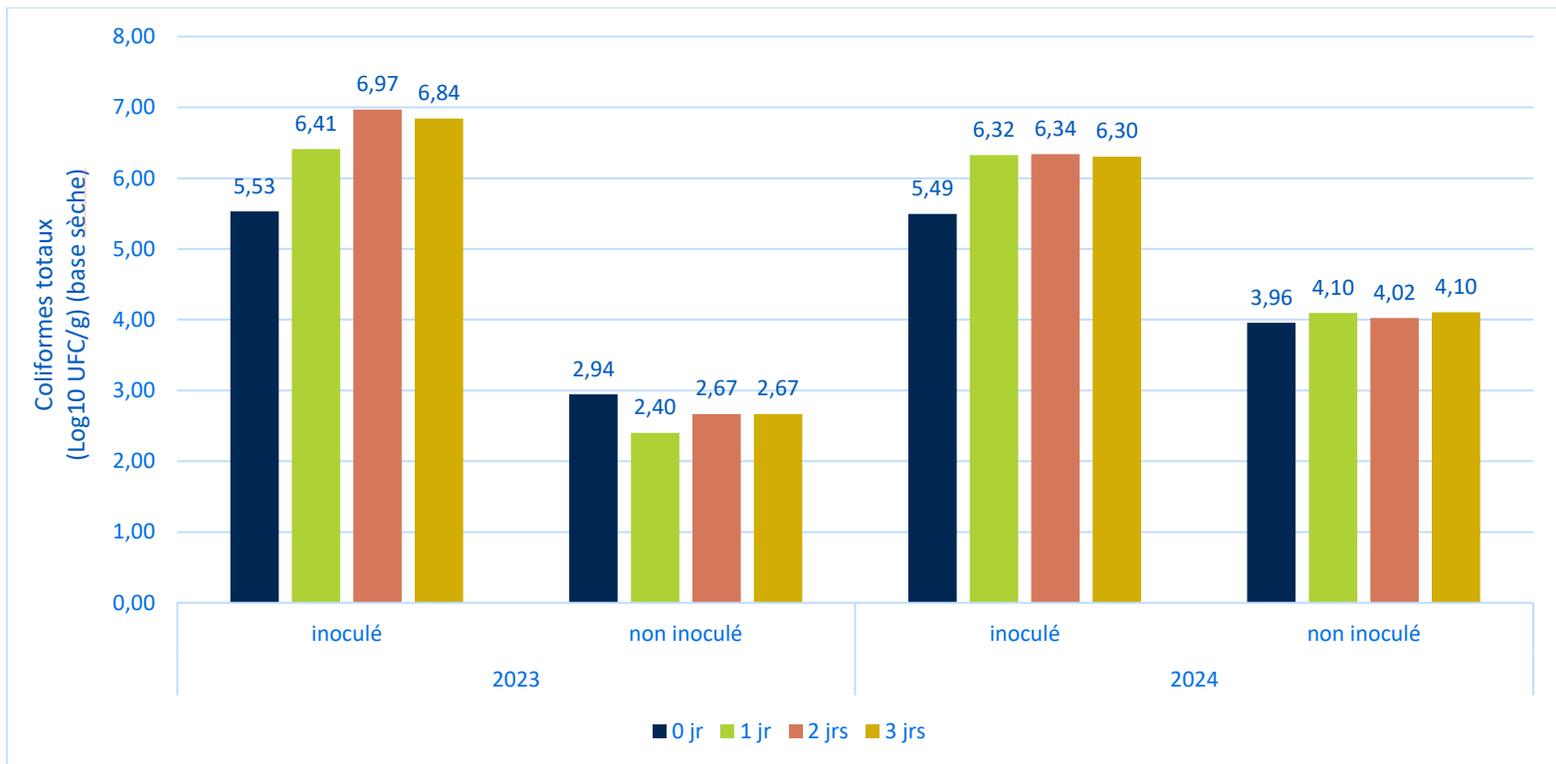
Ferme B

## Liste des Figures

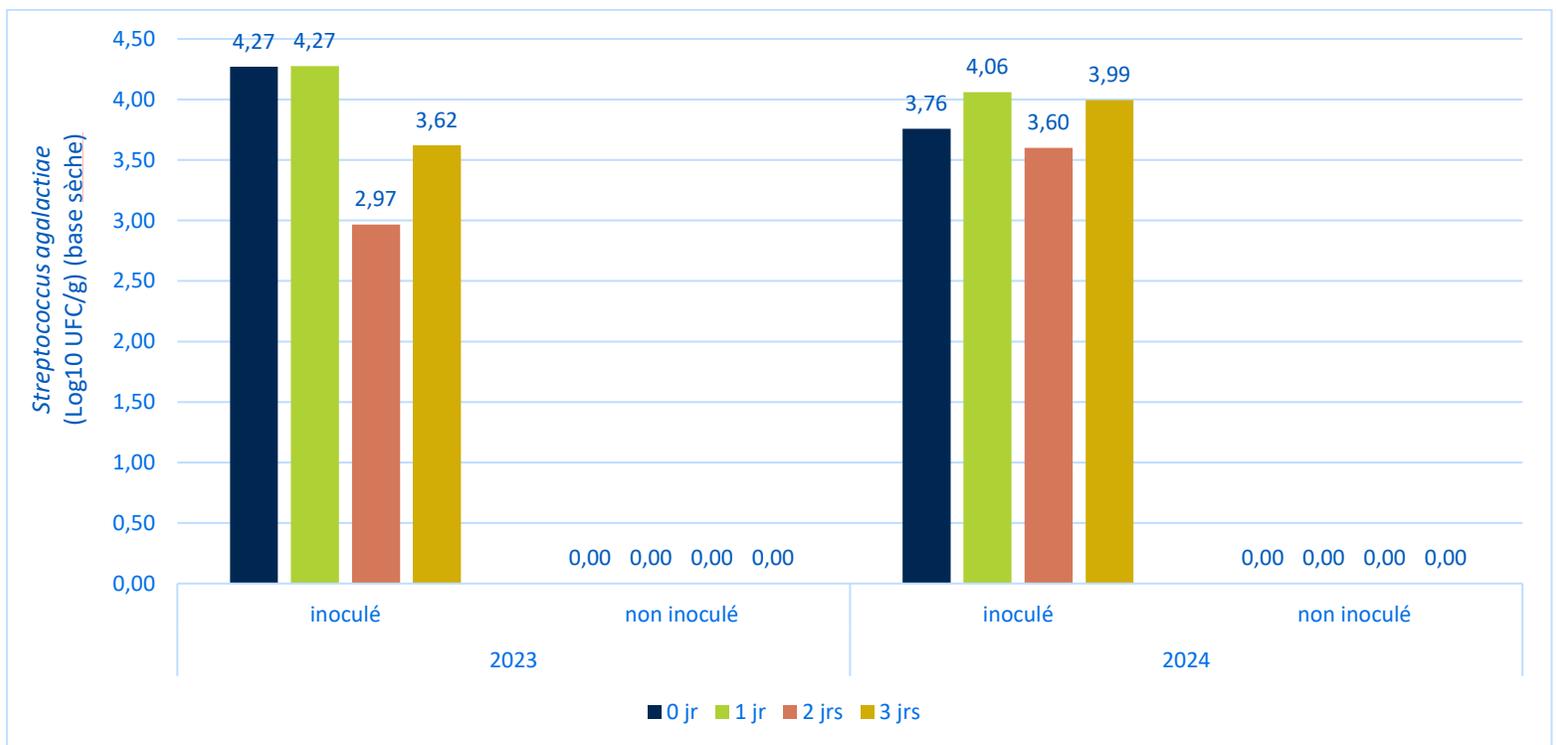
- Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 1
- Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2
- Figure 3.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2
- Figure 4.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 3



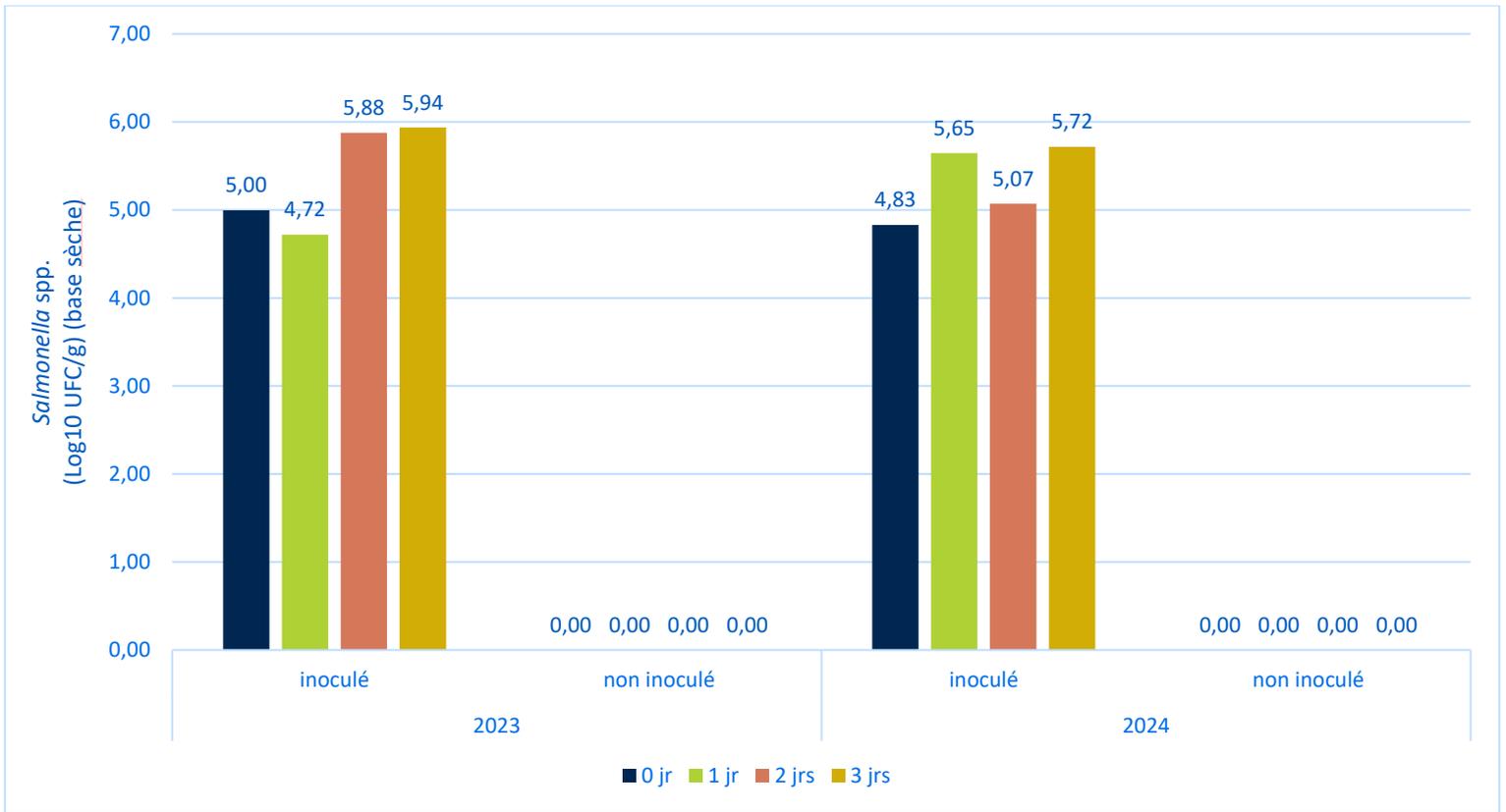
**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 3.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 4.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme B inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



## **Annexe 3**

Potentiel de recroissance des microorganismes dans les  
litières prélevées en entreprises

Ferme C

# Liste des Figures

**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 1

**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2

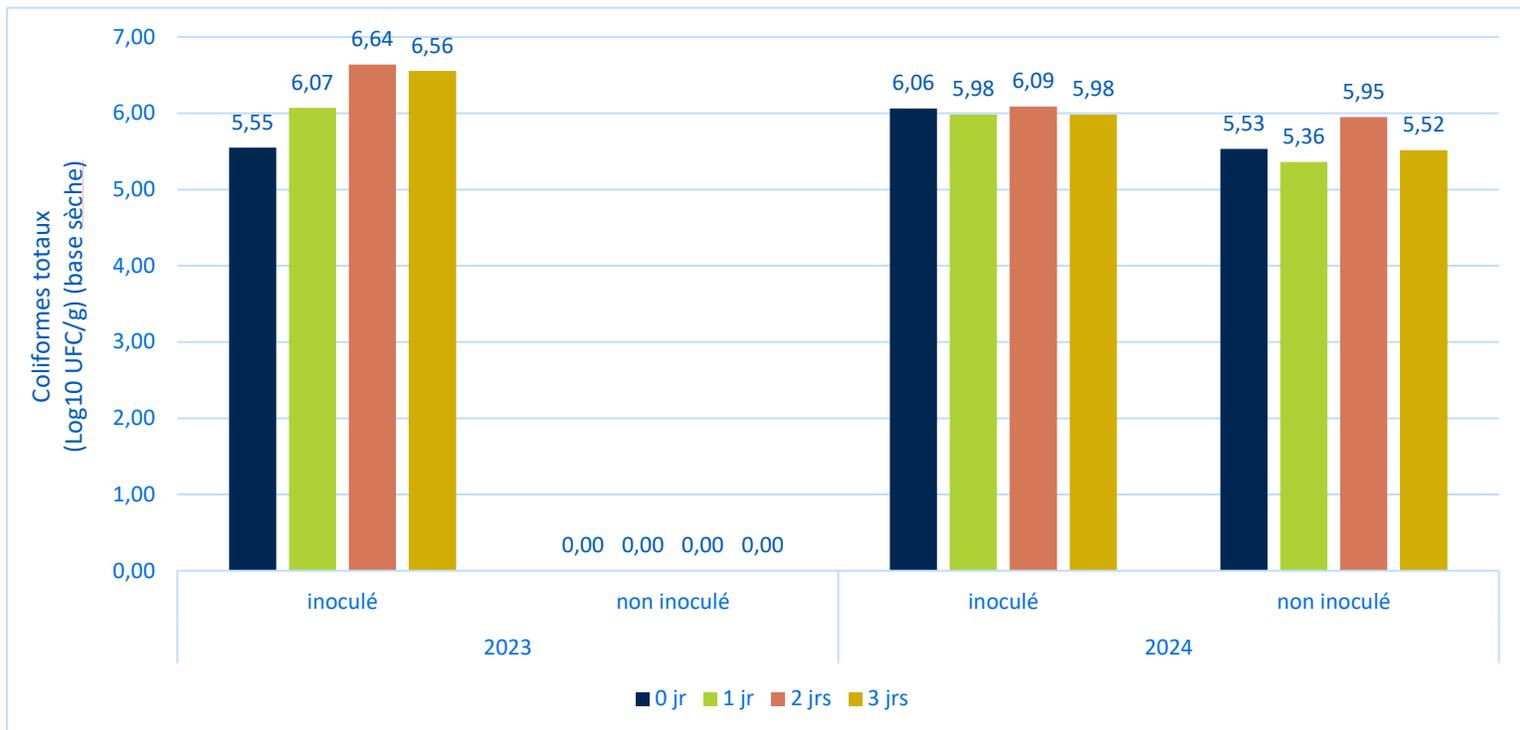
**Figure 3.** Populations de *Streptococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 2

**Figure 4.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024. .... 3

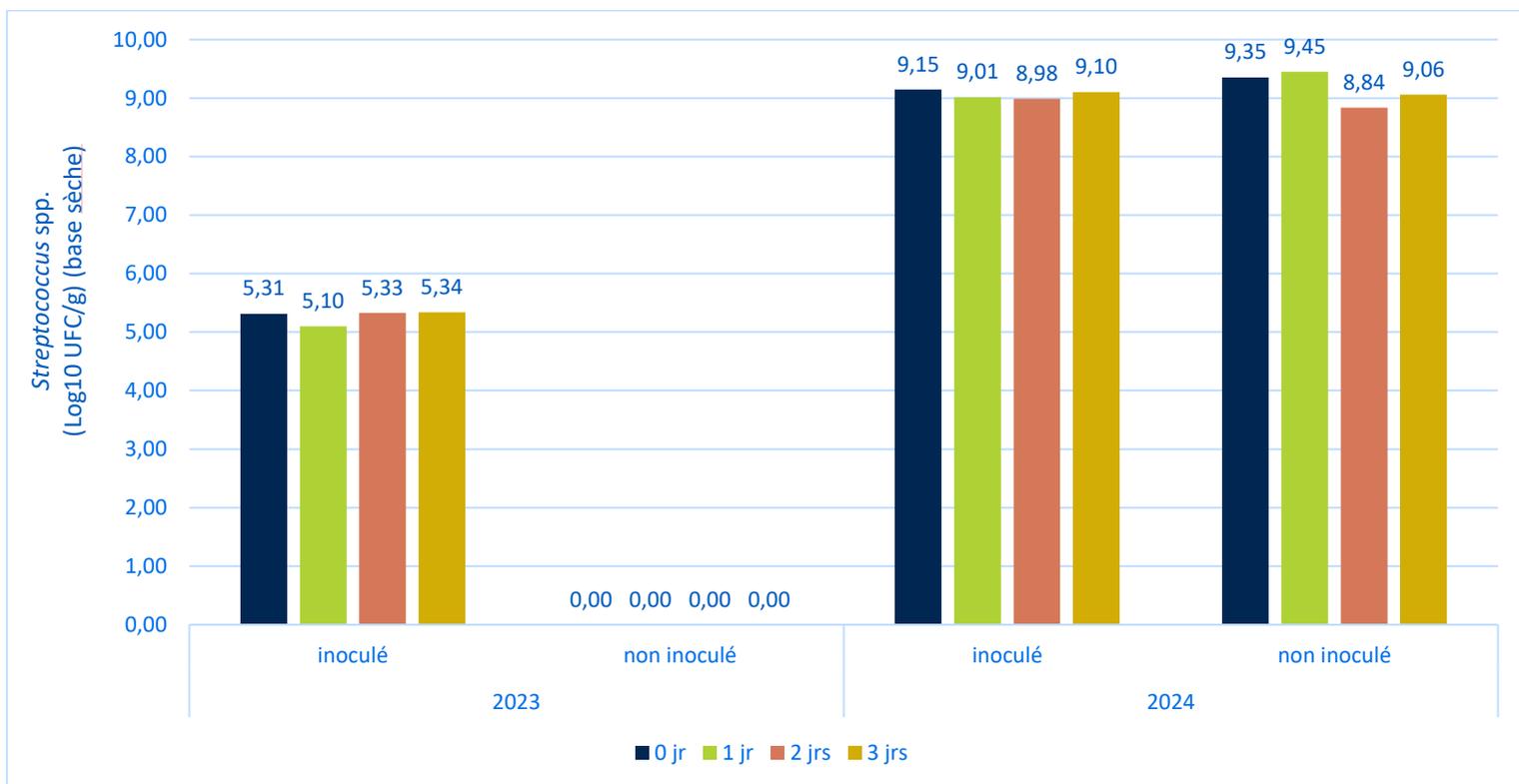
**Figure 5.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 3



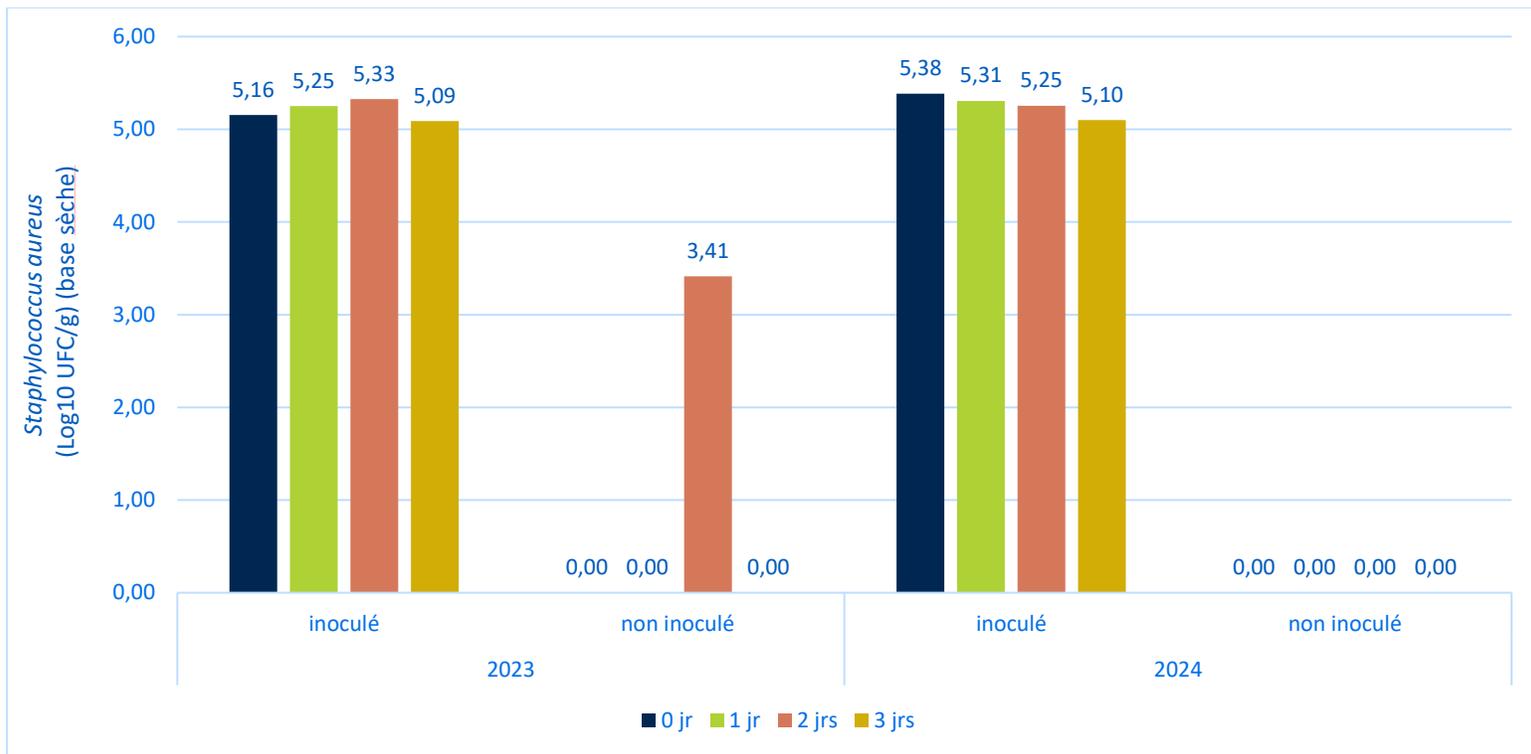
**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



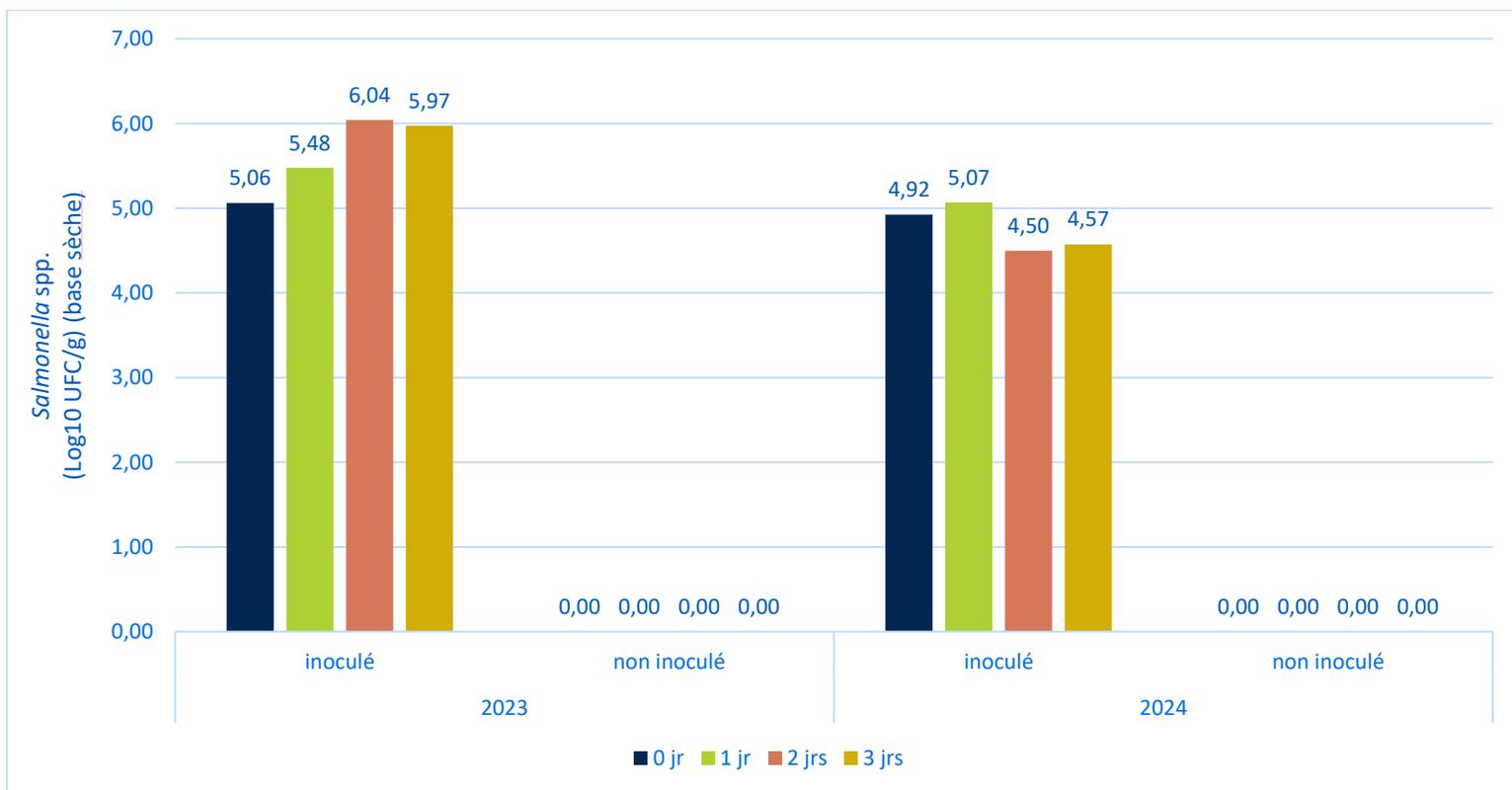
**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 3.** Populations de *Streptococcus* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 4.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 5.** Populations de *Salmonella* spp. dans la litière traitée de la ferme C inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



## **Annexe 4**

Potentiel de recroissance des microorganismes dans la  
litière témoin

Ripe de bois

# Liste des Figures

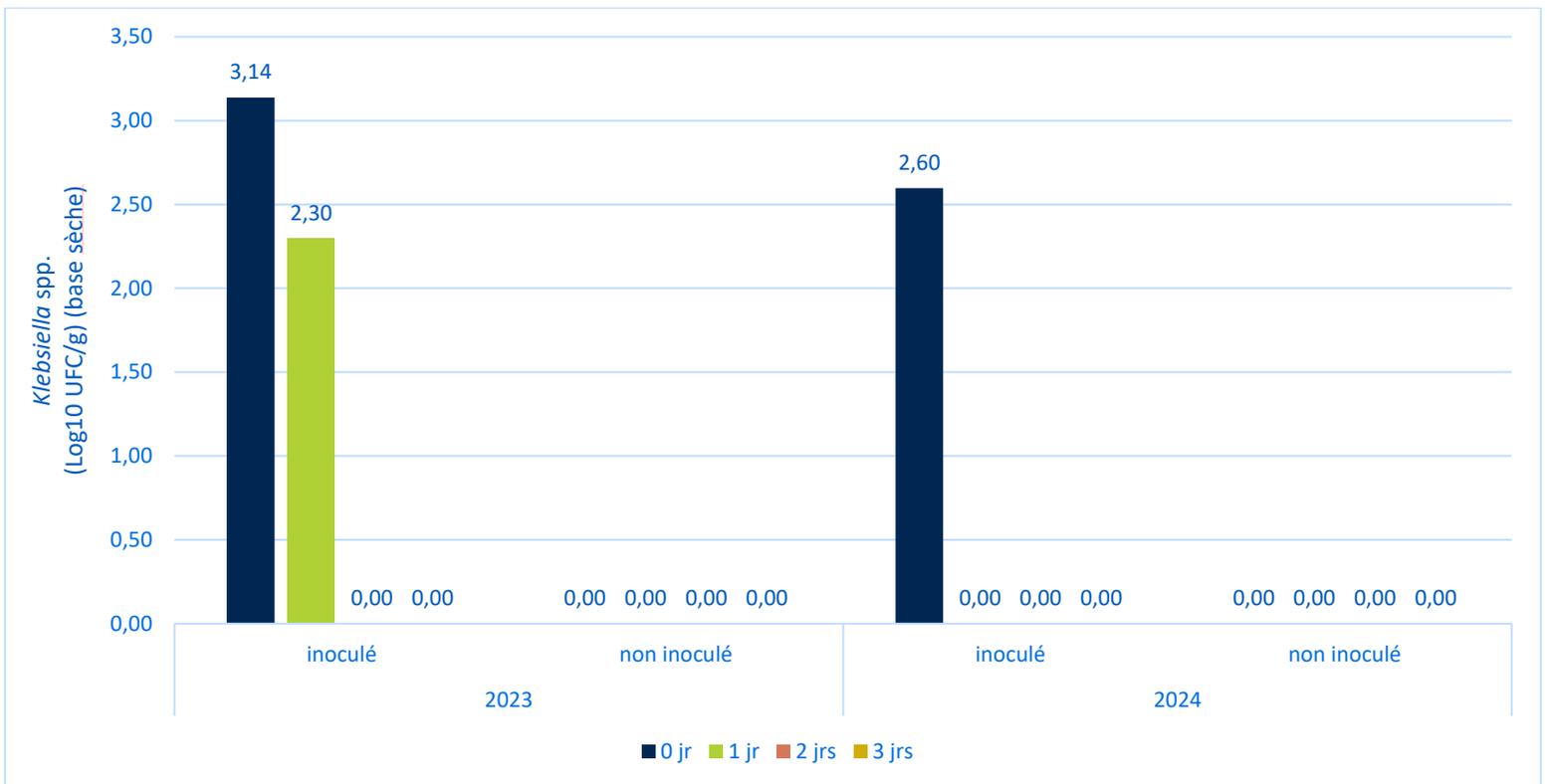
**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024. .... 1

**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024. .... 2

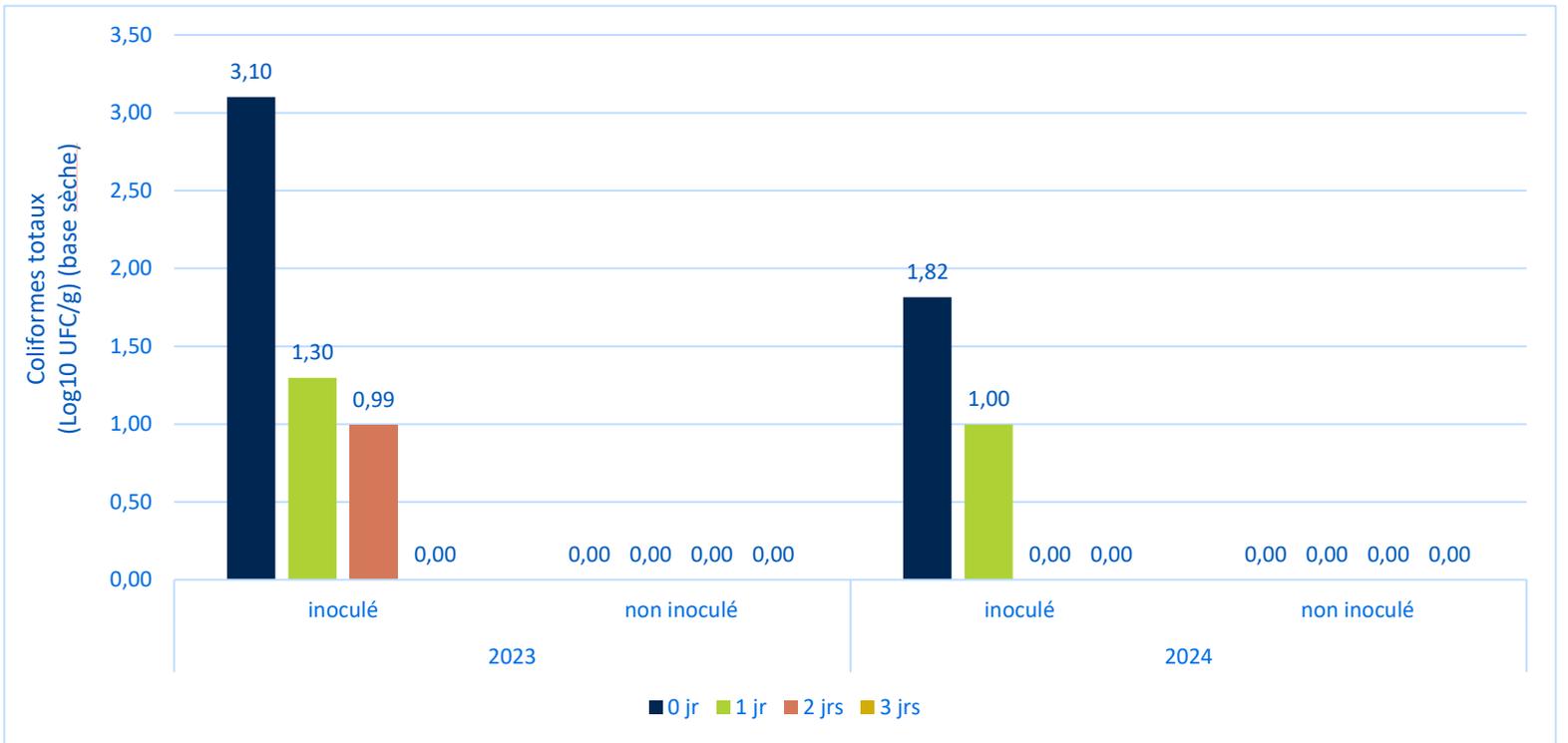
**Figure 3.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024. .... 2

**Figure 4.** Populations de *Salmonella* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024. .... 3

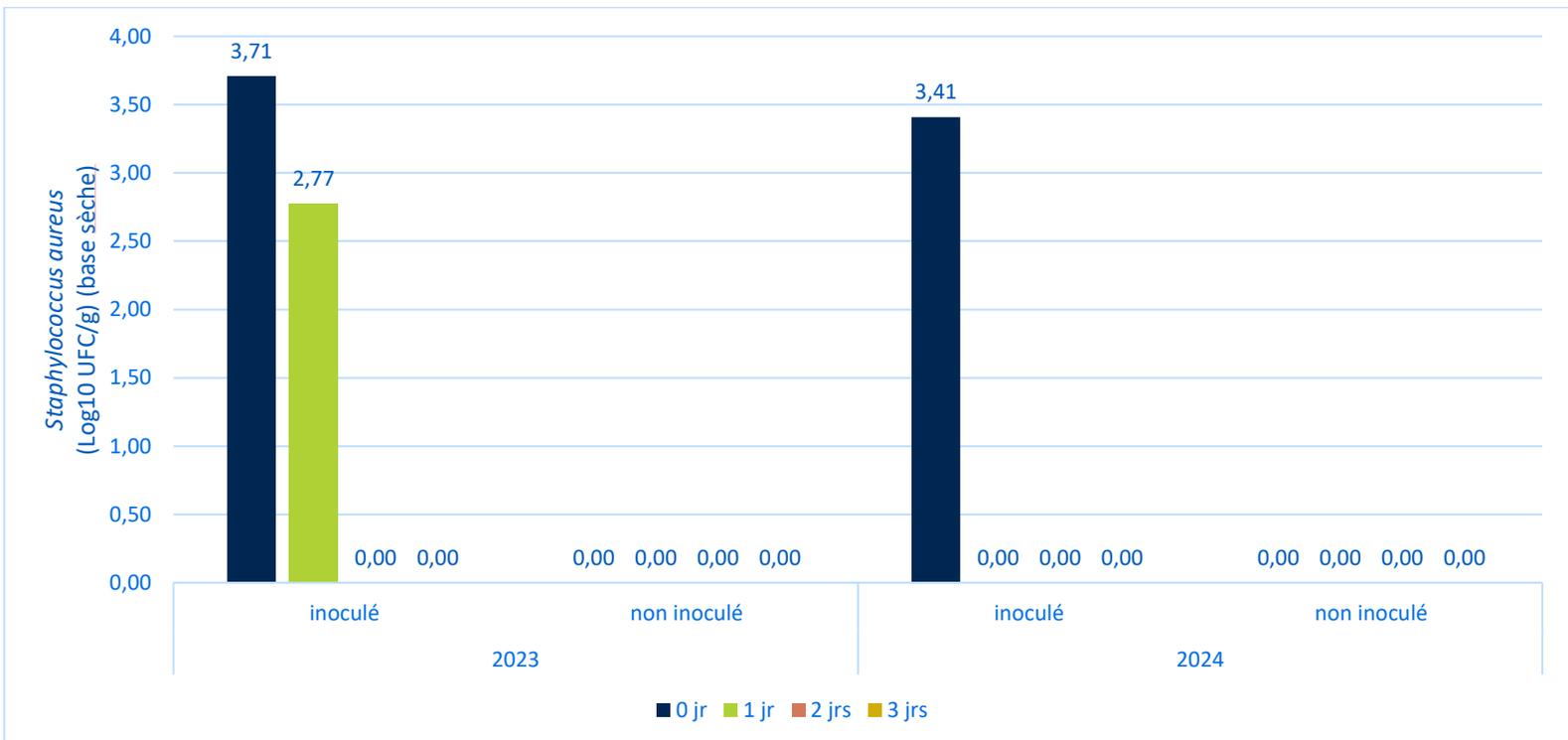
**Figure 5.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024..... 3



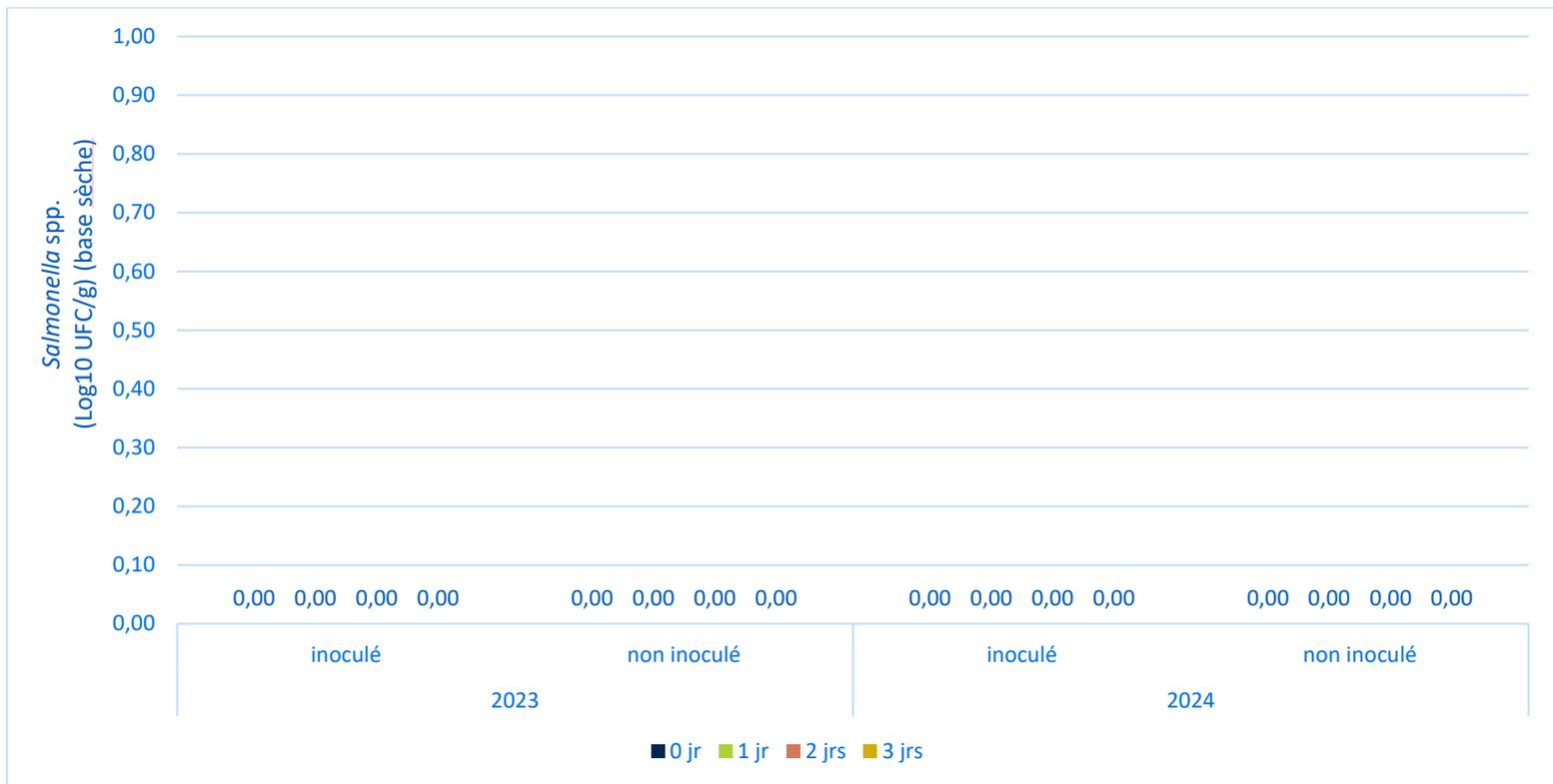
**Figure 1.** Populations de *Klebsiella* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



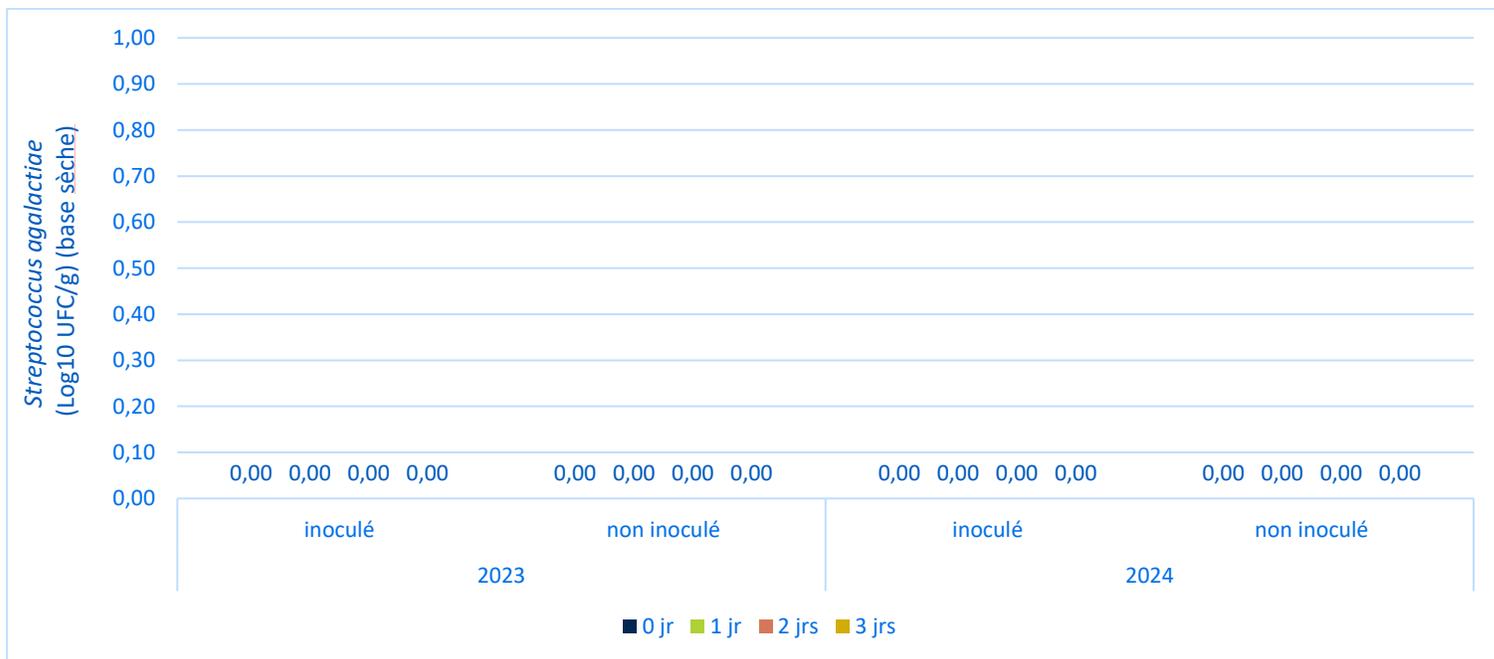
**Figure 2.** Populations de coliformes totaux dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 3.** Populations de *Staphylococcus aureus* dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d'incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 4.** Populations de *Salmonella* spp. dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



**Figure 5.** Populations de *Streptococcus agalactiae* dans la ripe de bois inoculée artificiellement ou non durant les trois jours d’incubation à 15 °C en 2023 et 2024.



## **Annexe 5**

Impact des conditions de compostage en biodigesteurs  
expérimentaux sur le devenir des microorganismes

Graphiques des populations bactériennes

# Liste des Figures

## Traitement 1 jour à 0.1 LPM

<b>Figure 1.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	2
<b>Figure 2.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Klebsiella</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	2
<b>Figure 3.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Streptococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	3

## Traitement 1 jour à 0.5 LPM

<b>Figure 4.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	3
<b>Figure 5.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Klebsiella</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	4
<b>Figure 6.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Streptococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	4

## Traitement 3 jours à 0.1 LPM en 2023

<b>Figure 7.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023. ....	5
<b>Figure 8.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Klebsiella</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023. ....	5
<b>Figure 9.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Staphylococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023. ....	6
<b>Figure 10.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Streptococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023. ....	6

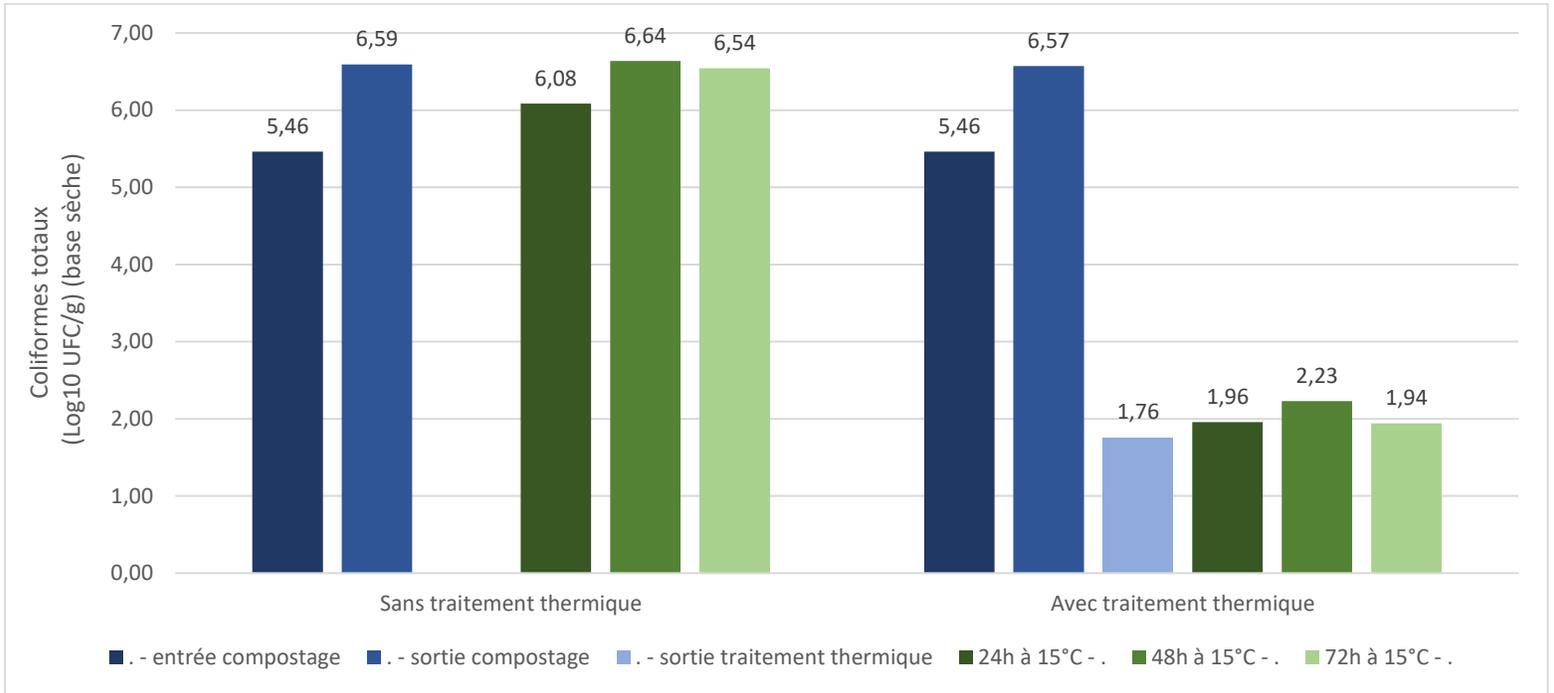
## Traitement 3 jours à 0.1 LPM en 2024

<b>Figure 11.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024. ....	7
<b>Figure 12.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Klebsiella</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024. ....	7
<b>Figure 13.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Staphylococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024. ....	8
<b>Figure 14.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Streptococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024. ....	8

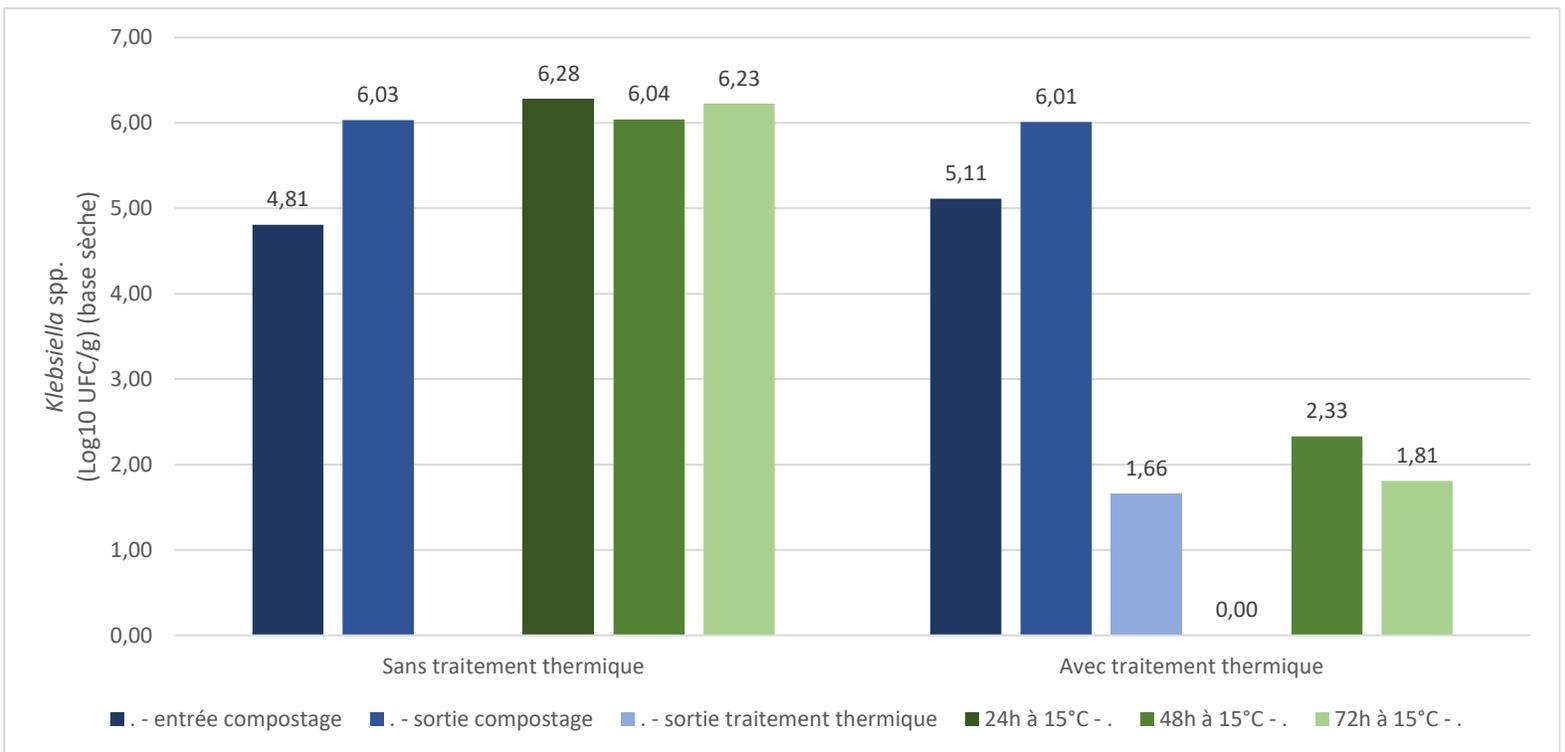
## Traitement 3 jours à 0.5 LPM

<b>Figure 15.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM). ....	9
<b>Figure 16.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Klebsiella</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM). ....	9
<b>Figure 17.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Staphylococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM). ....	10
<b>Figure 18.</b> Effet du compostage et du post-traitement thermique sur <i>Streptococcus</i> spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM). ....	10

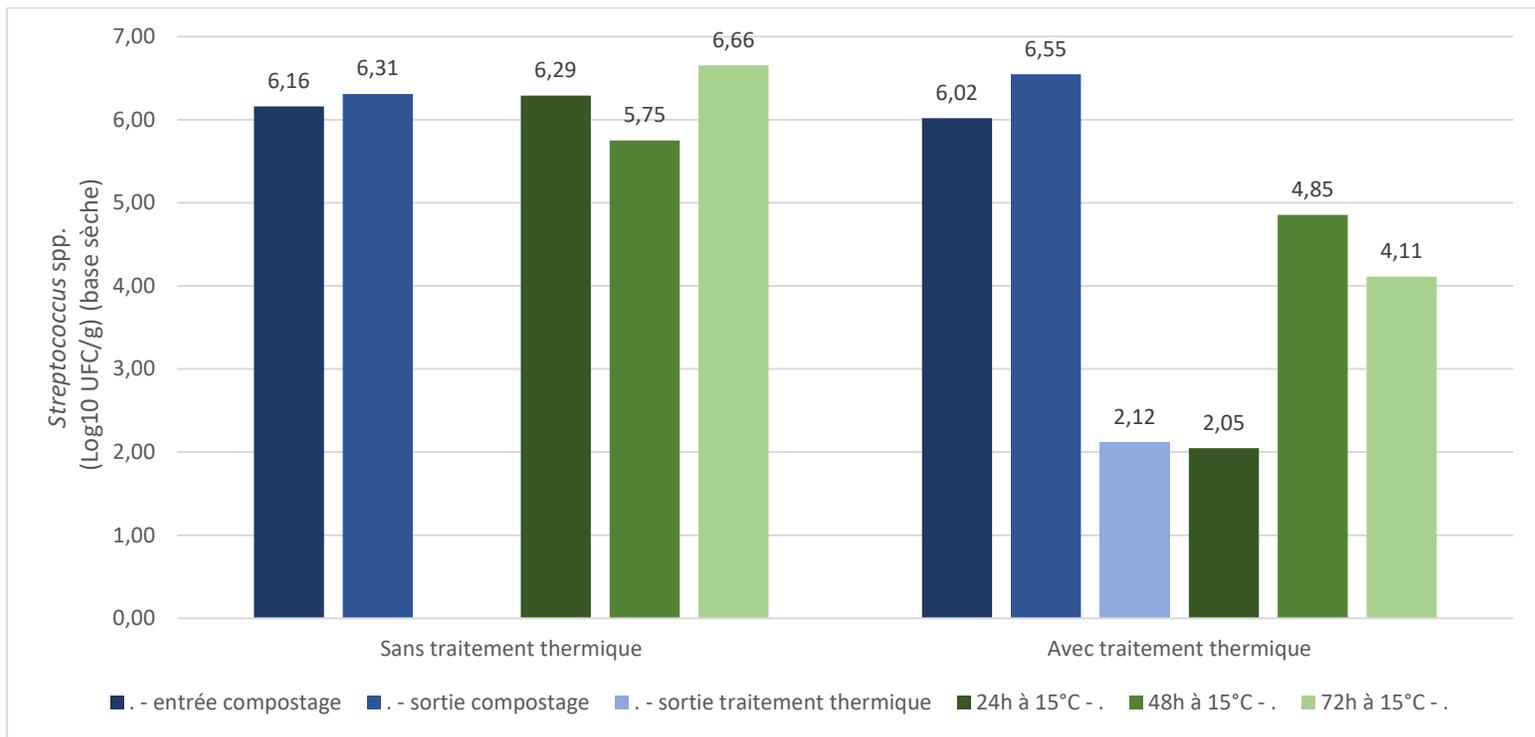
## Traitement 1 jour à 0.1 LPM



**Figure 1.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

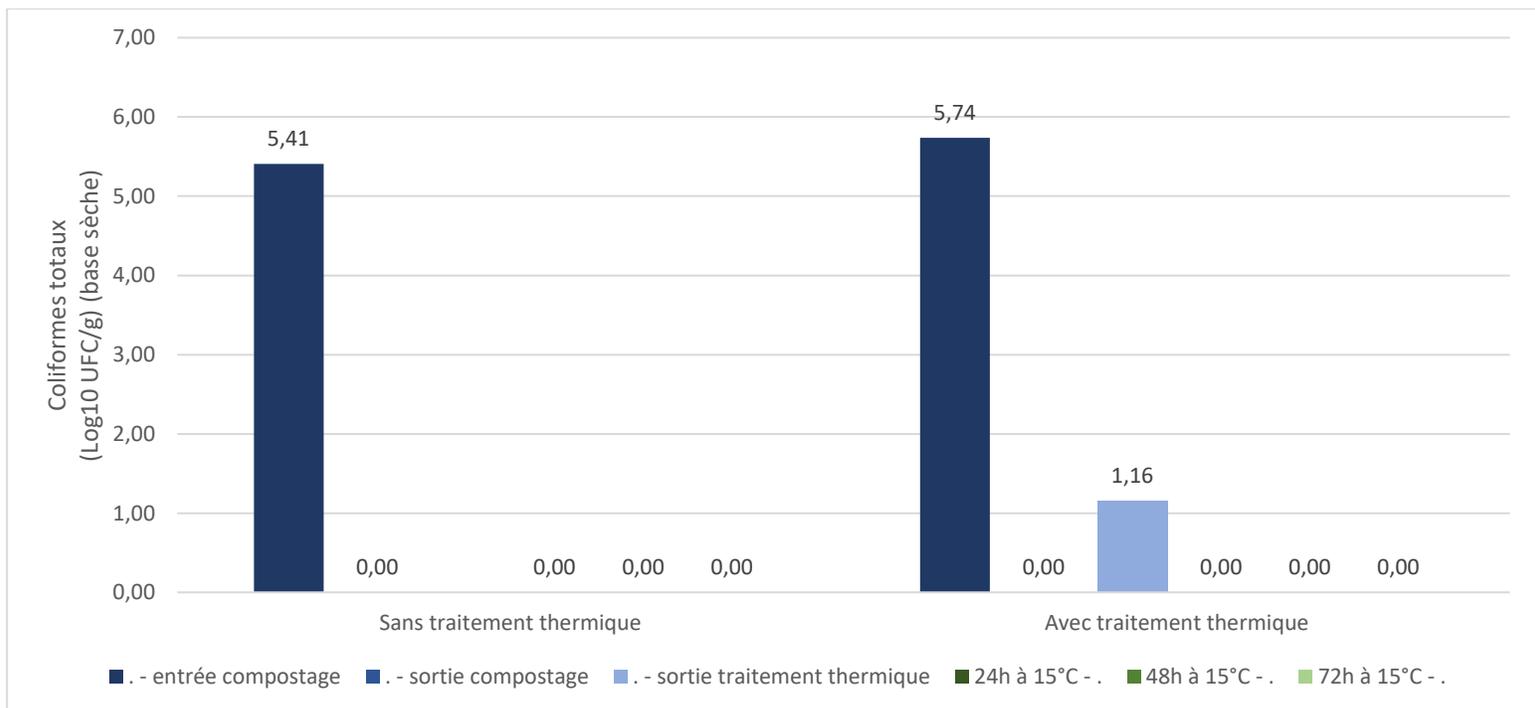


**Figure 2.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Klebsiella* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

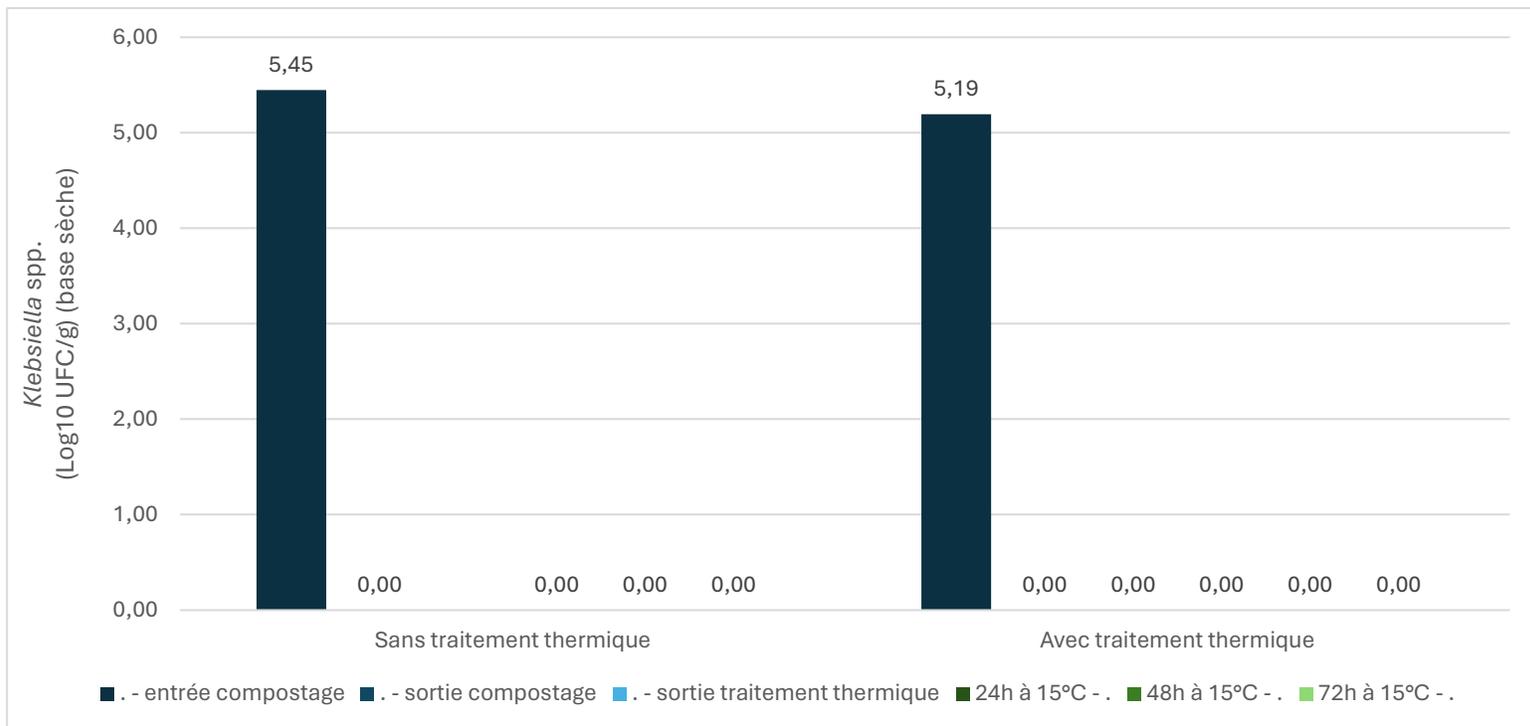


**Figure 3.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Streptococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

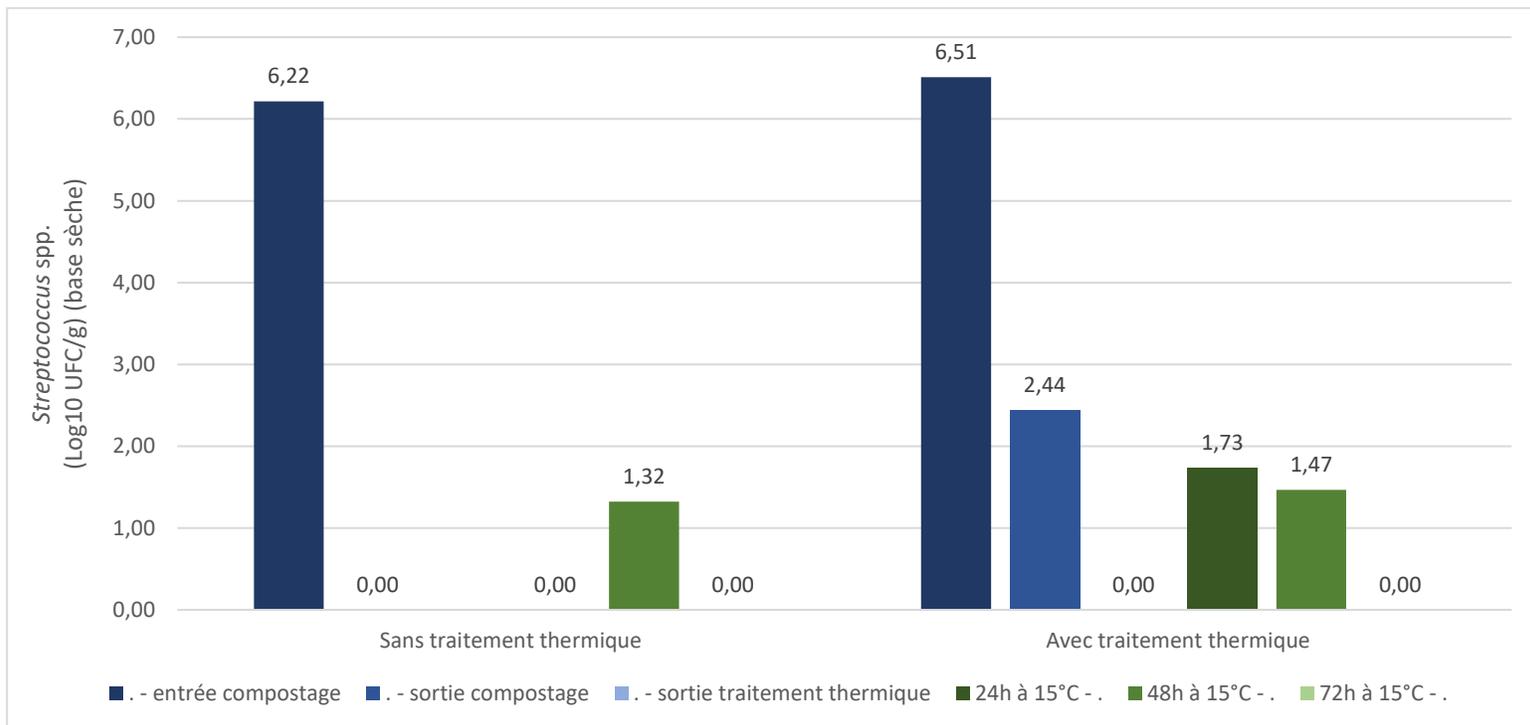
### Traitement 1 jour à 0.5 LPM



**Figure 4.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

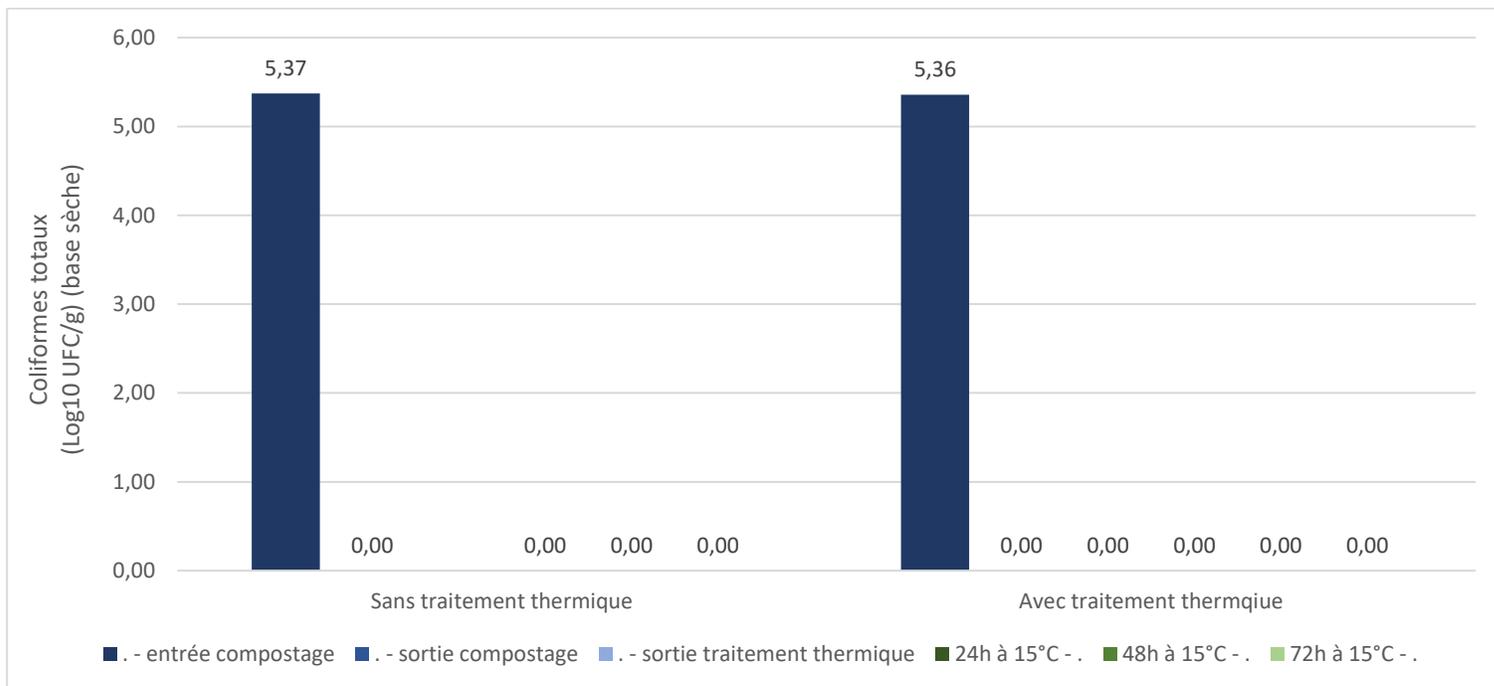


**Figure 5.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Klebsiella* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

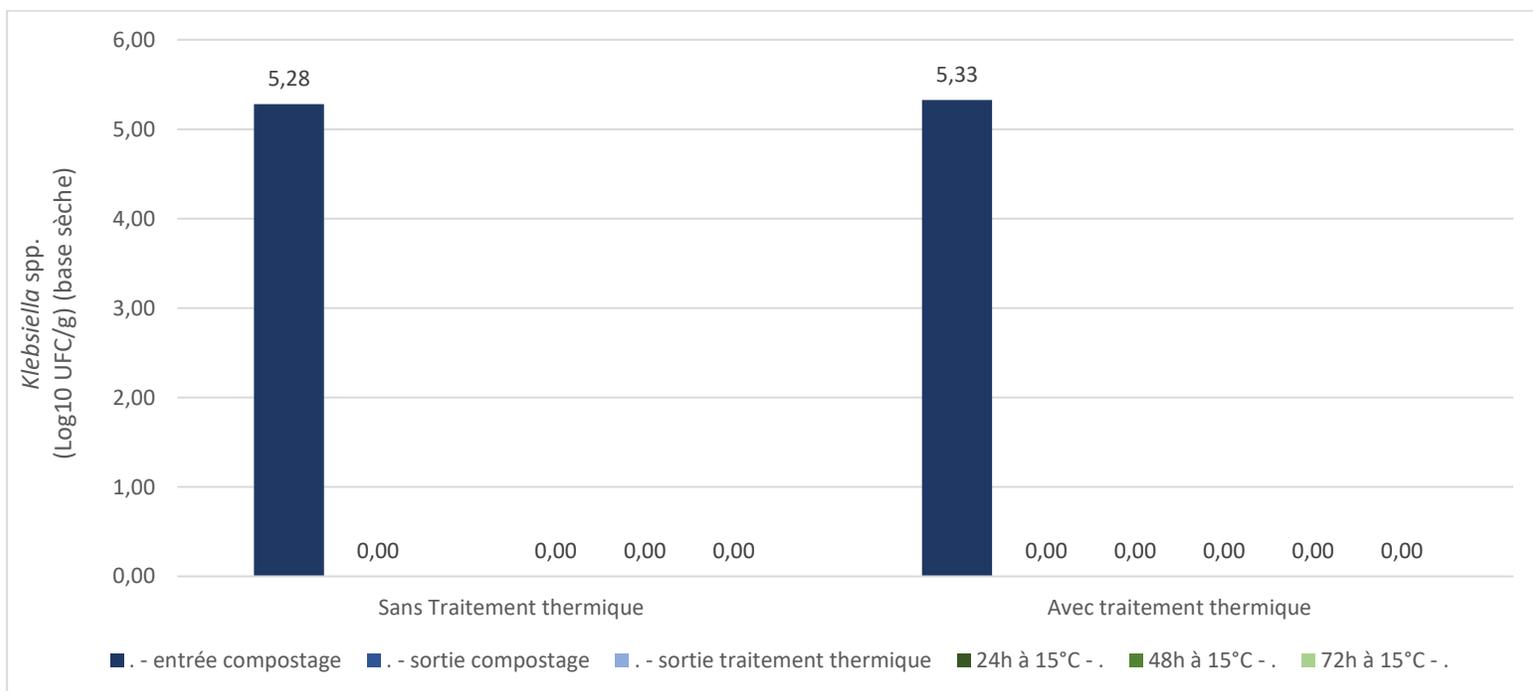


**Figure 6.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Streptococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

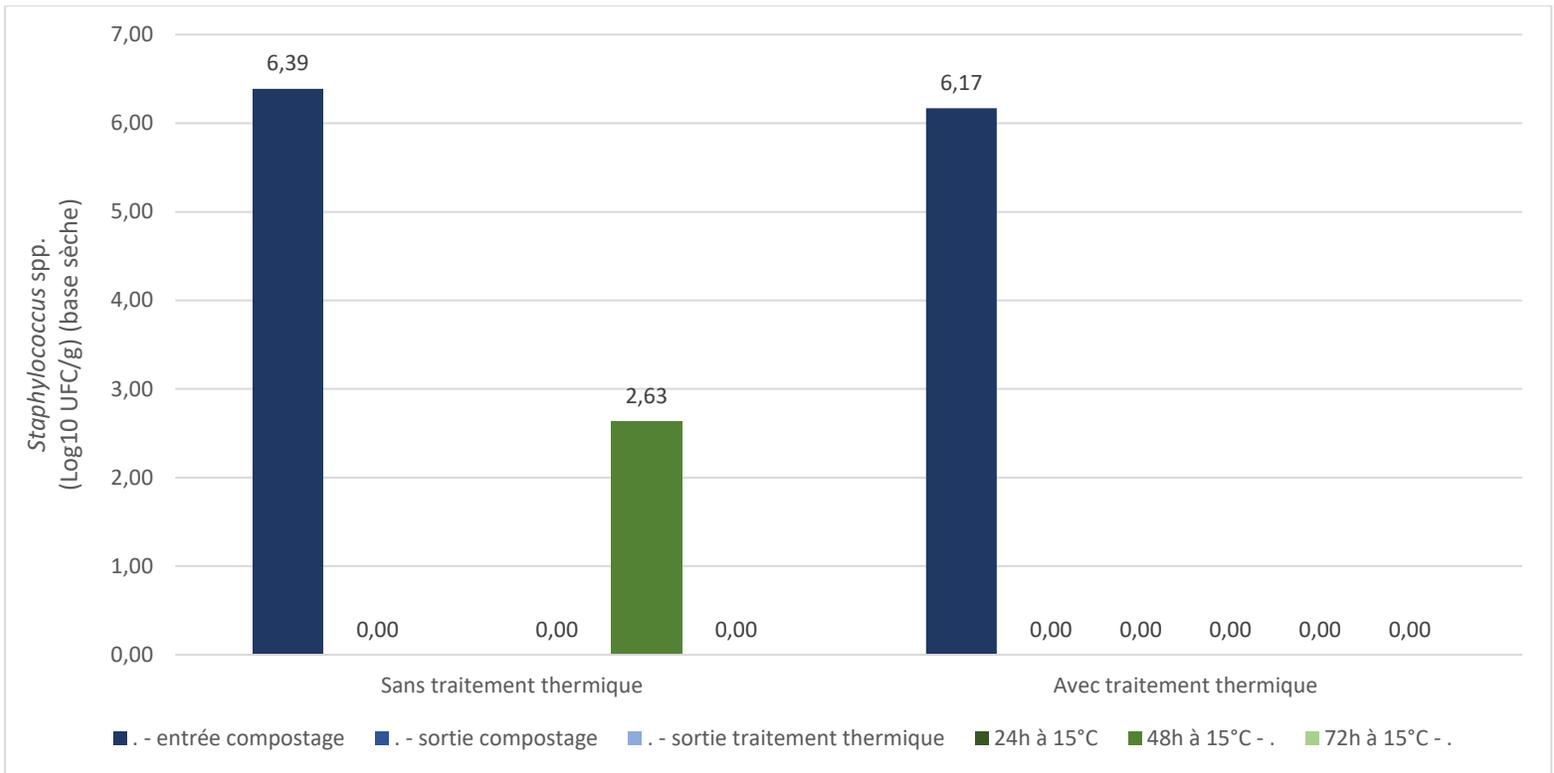
### Traitement 3 jours à 0.1 LPM en 2023



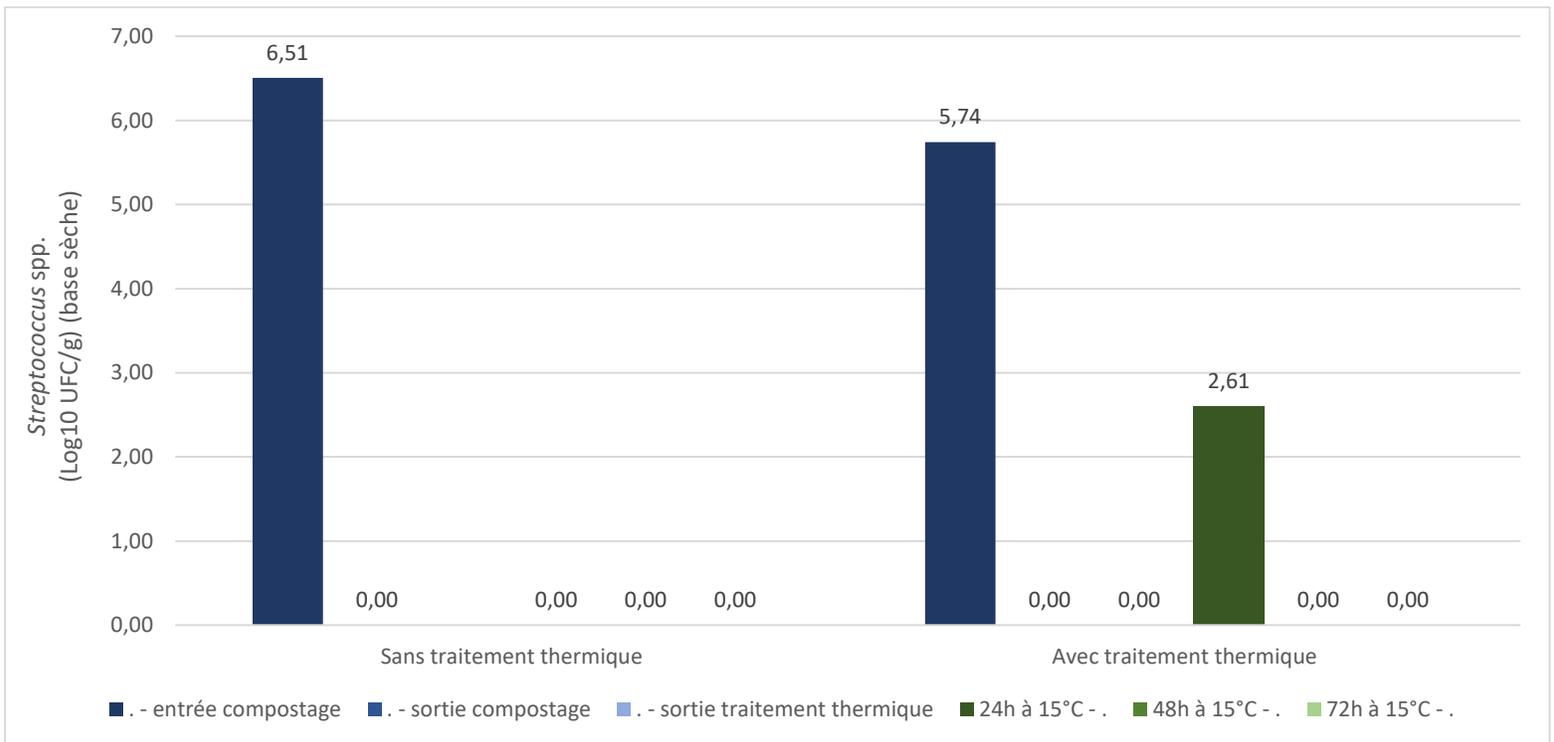
**Figure 7.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d’incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.



**Figure 8.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Klebsiella* spp. et devenir des populations durant trois jours d’incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.

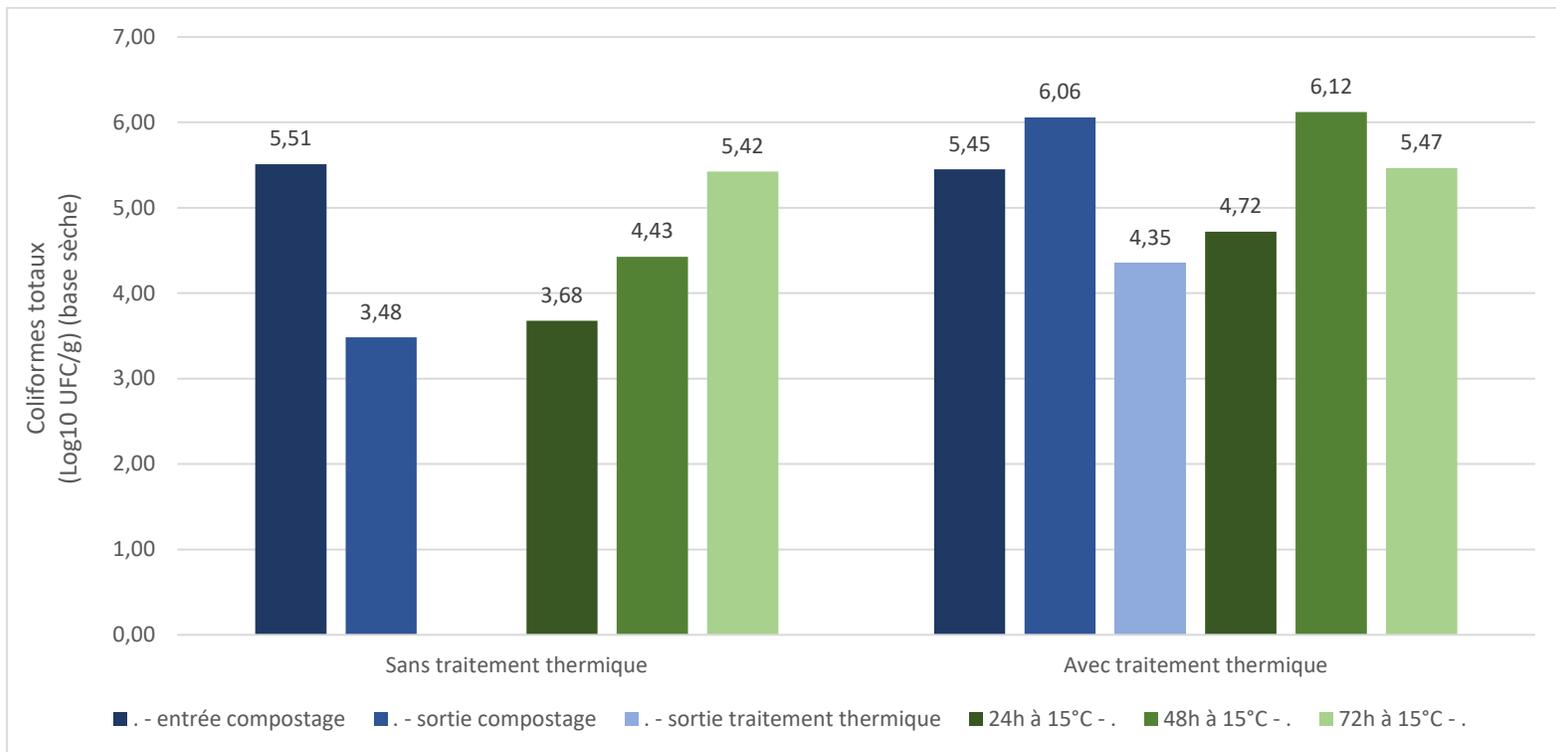


**Figure 9.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Staphylococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.

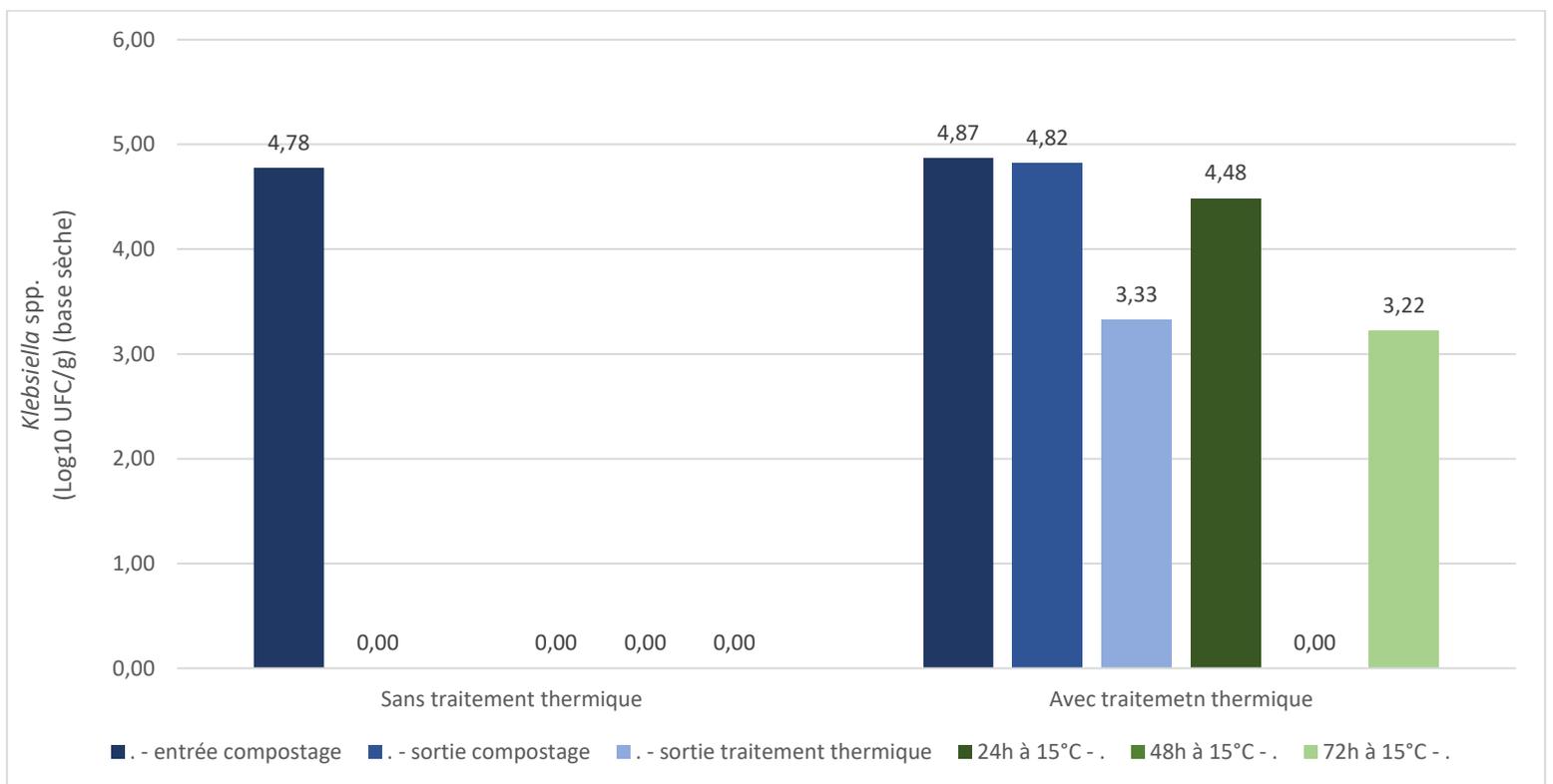


**Figure 10.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Streptococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2023.

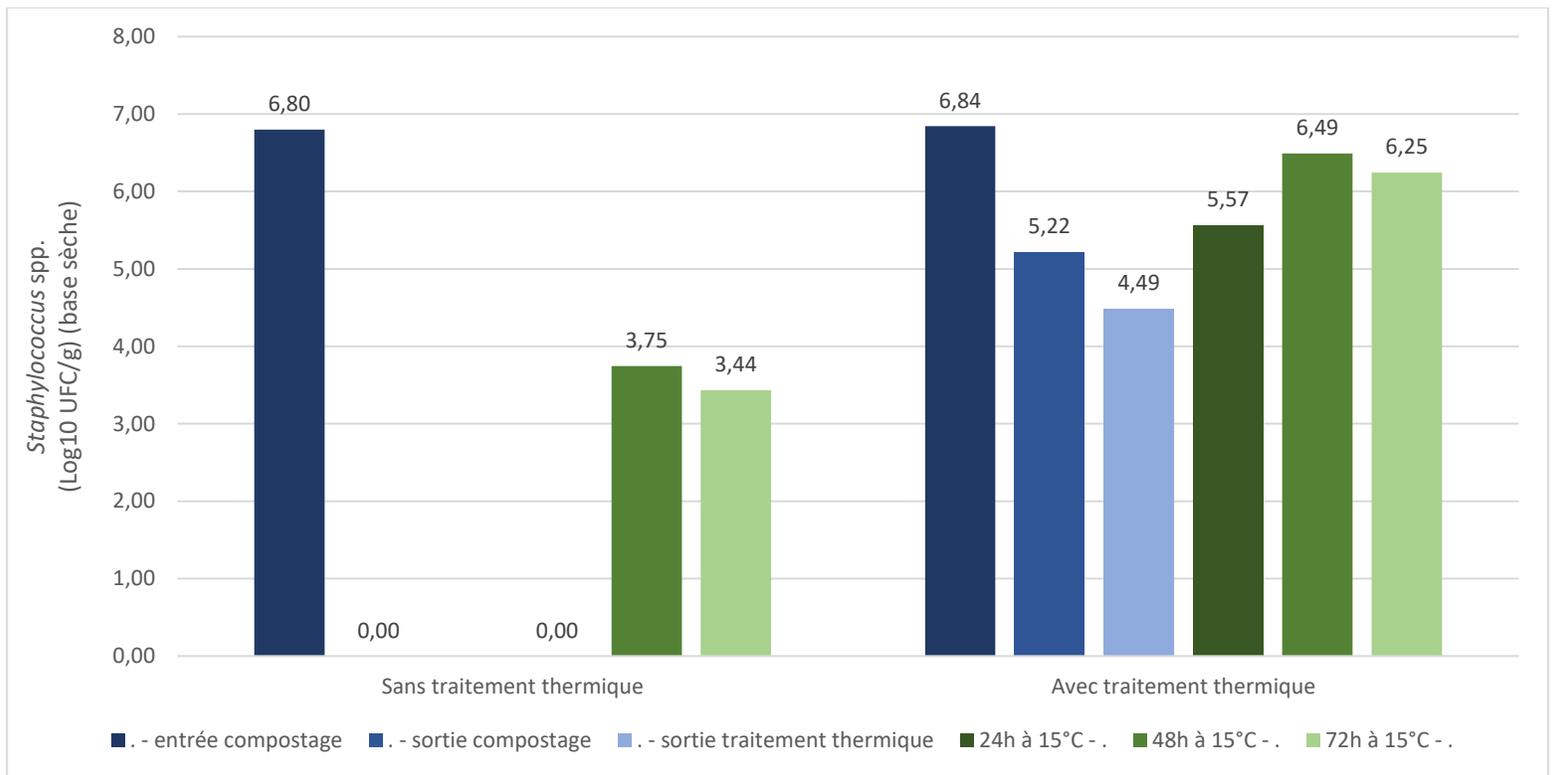
### Traitement 3 jours à 0.1 LPM en 2024



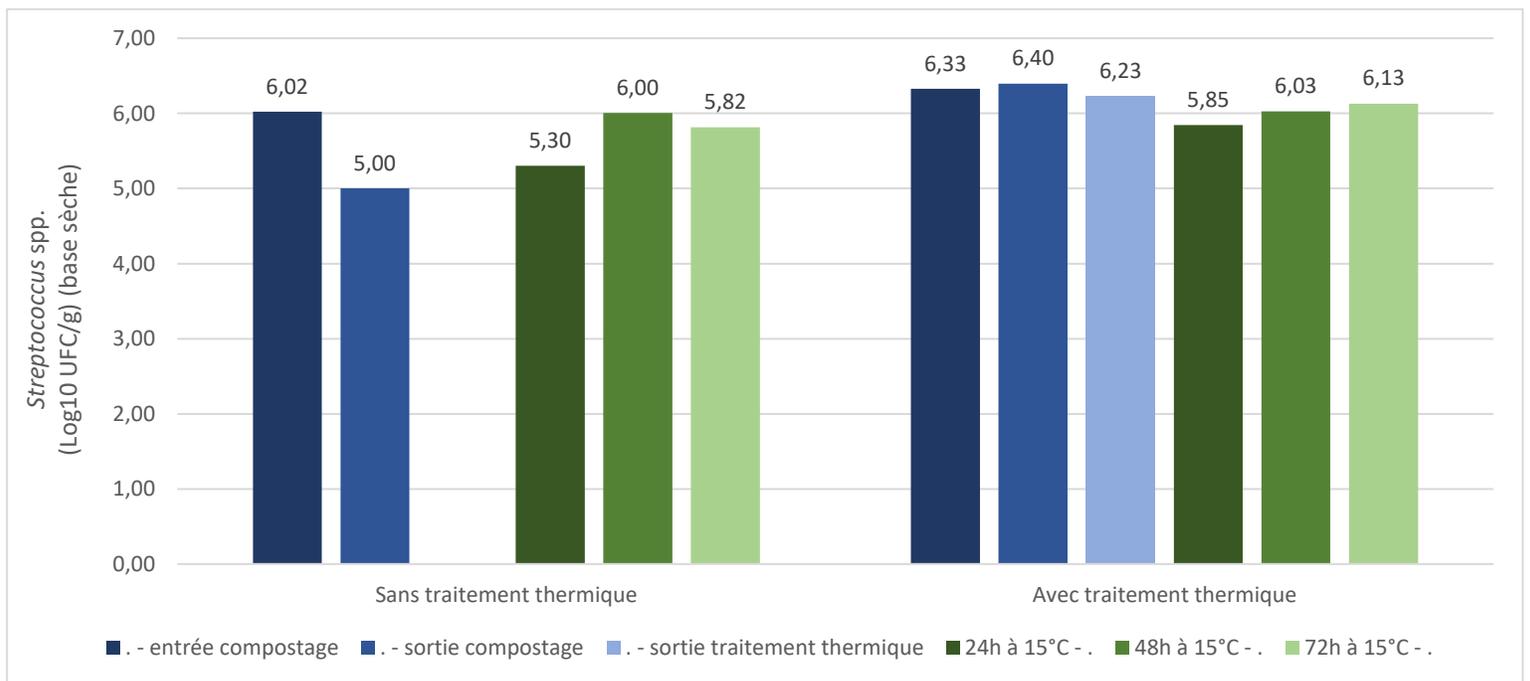
**Figure 11.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.



**Figure 12.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Klebsiella* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.

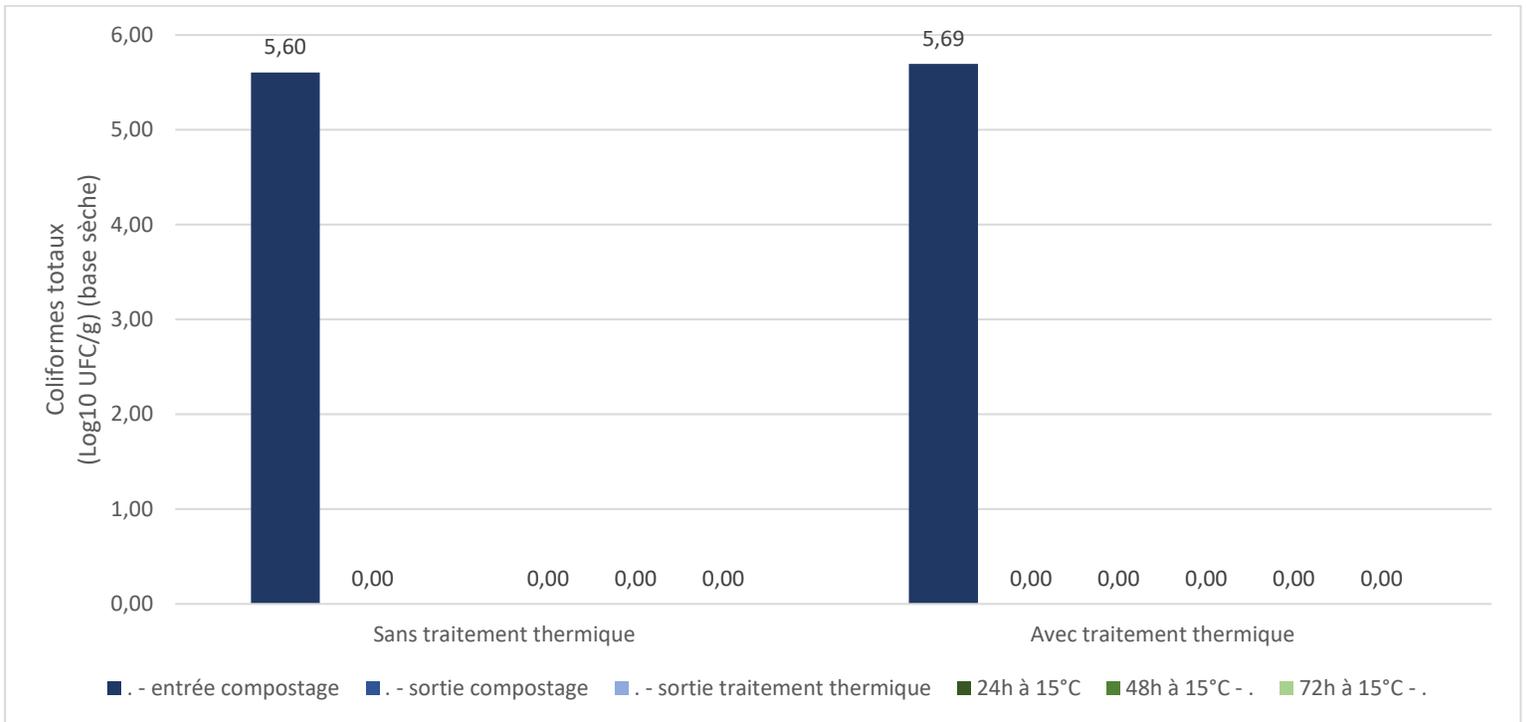


**Figure 13.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Staphylococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.

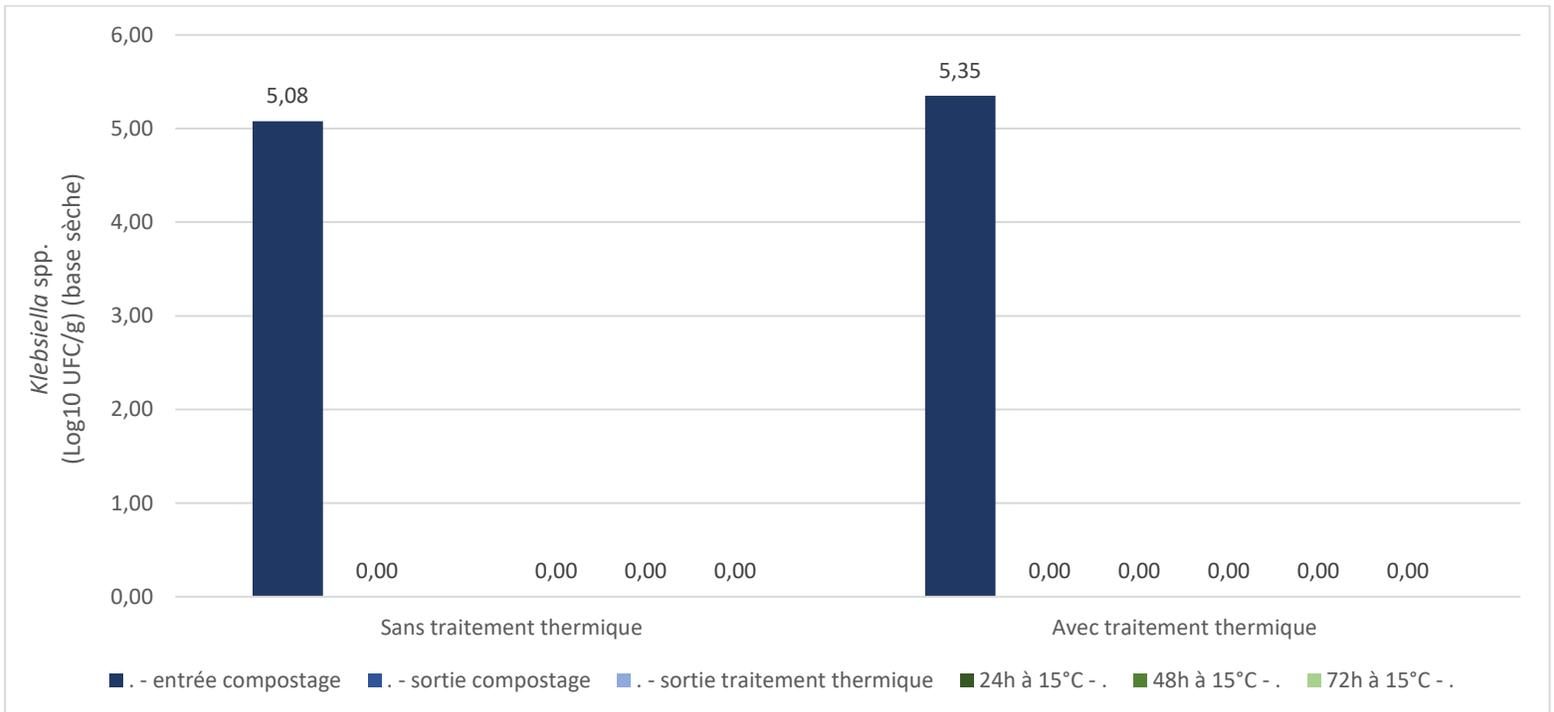


**Figure 14.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Streptococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) en 2024.

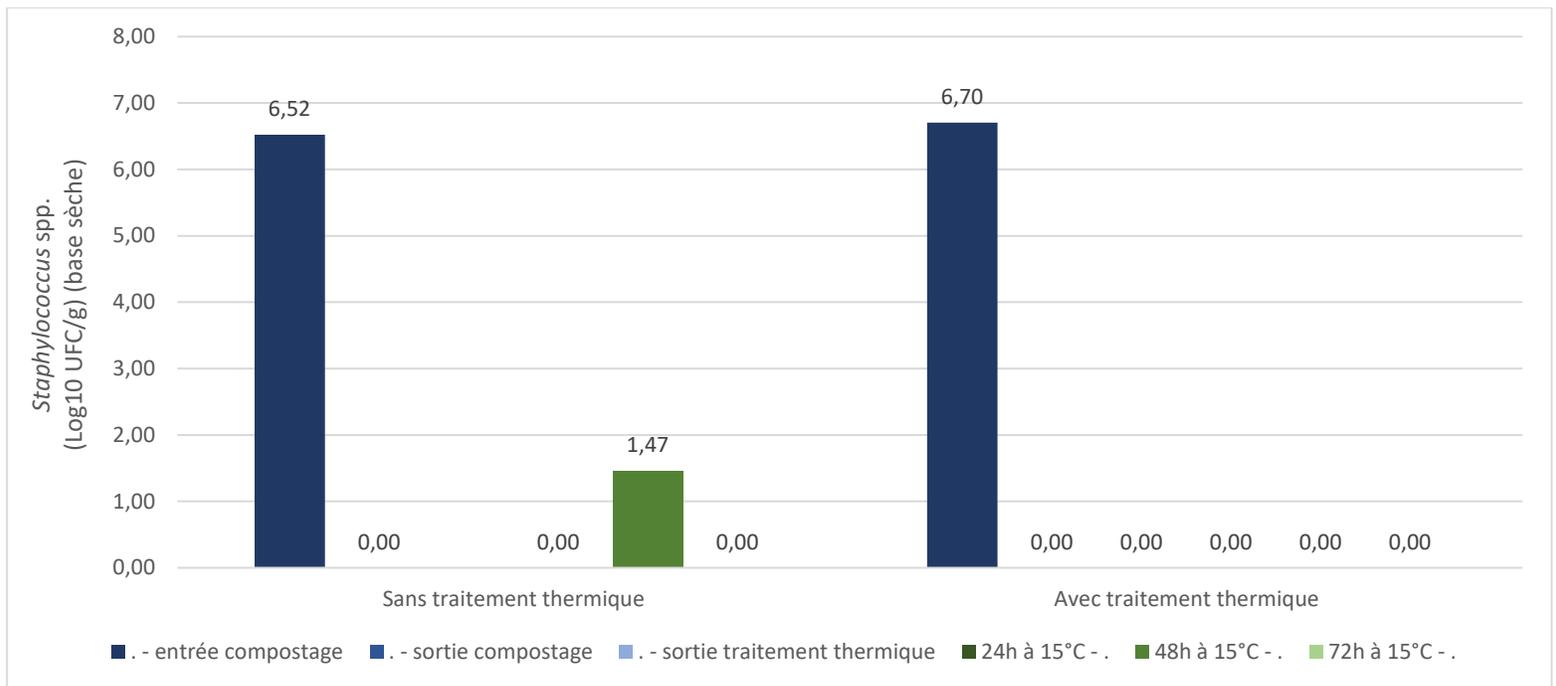
### Traitement 3 jours à 0.5 LPM



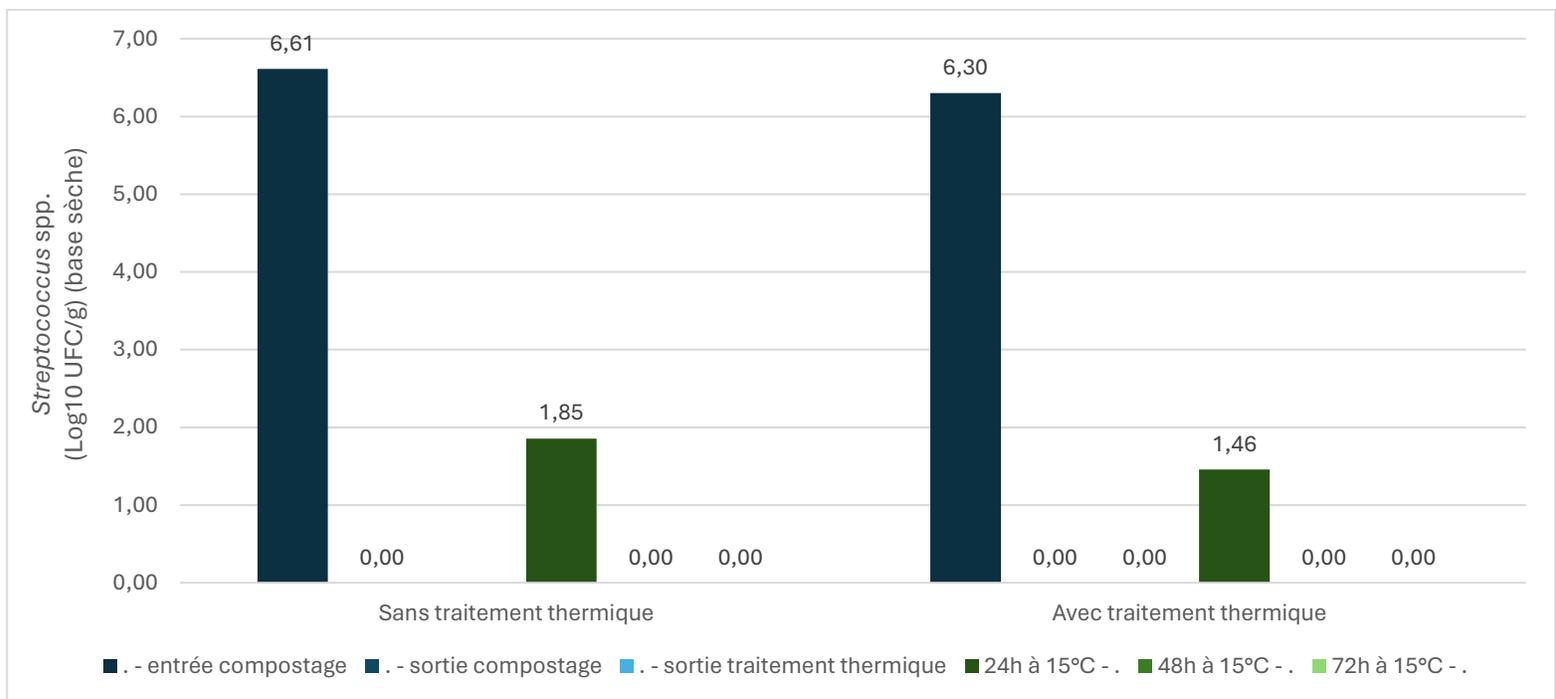
**Figure 15.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur les coliformes totaux et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 16.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Klebsiella* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 17.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Staphylococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 18.** Effet du compostage et du post-traitement thermique sur *Streptococcus* spp. et devenir des populations durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



## **Annexe 6**

Potentiel de recroissance des microorganismes dans les litières compostées et contaminées artificiellement

Graphiques des populations bactériennes

# Liste des Figures

## Traitement 1 jour à 0.1 LPM

<b>Figure 1.</b> Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	3
<b>Figure 2.</b> Devenir des populations de <i>Klebsiella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	3
<b>Figure 3.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	4
<b>Figure 4.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus aureus</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	4
<b>Figure 5.</b> Devenir des populations de <i>Salmonella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	5
<b>Figure 6.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	5
<b>Figure 7.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus agalactiae</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM). .....	6

## Traitement 1 jour à 0.5 LPM

<b>Figure 8.</b> Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM) .....	6
<b>Figure 9.</b> Devenir des populations de <i>Klebsiella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	7
<b>Figure 10.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	7
<b>Figure 11.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus aureus</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	8
<b>Figure 12.</b> Devenir des populations de <i>Salmonella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	8
<b>Figure 13.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	9
<b>Figure 14.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus agalactiae</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM). .....	9

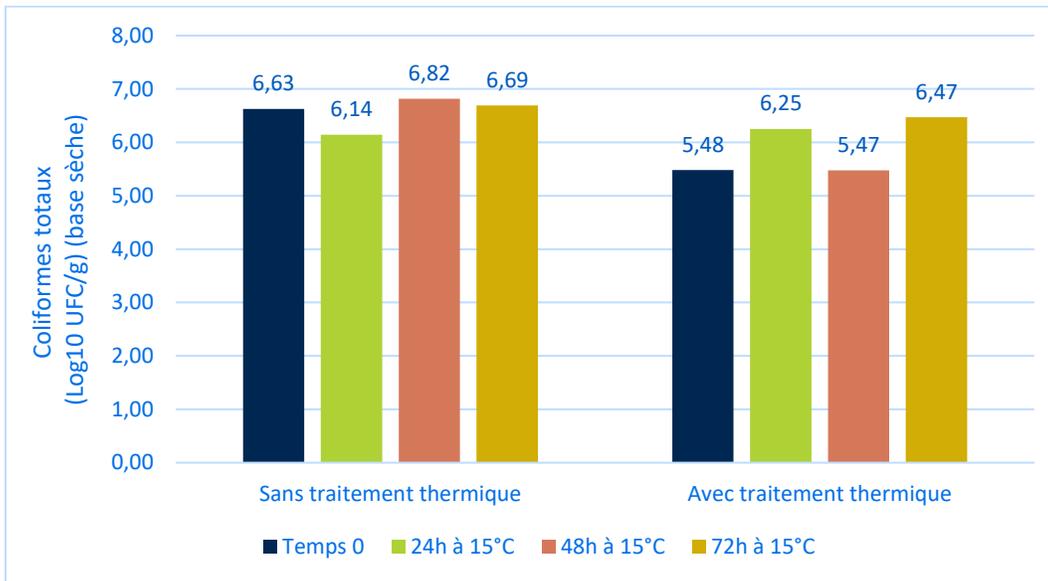
## Traitement 3 jours à 0.1 LPM

<b>Figure 15.</b> Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM) .....	10
<b>Figure 16.</b> Devenir des populations de <i>Klebsiella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	10
<b>Figure 17.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	11
<b>Figure 18.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus aureus</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	11
<b>Figure 19.</b> Devenir des populations de <i>Salmonella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	12
<b>Figure 20.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	12
<b>Figure 21.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus agalactiae</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM). .....	13

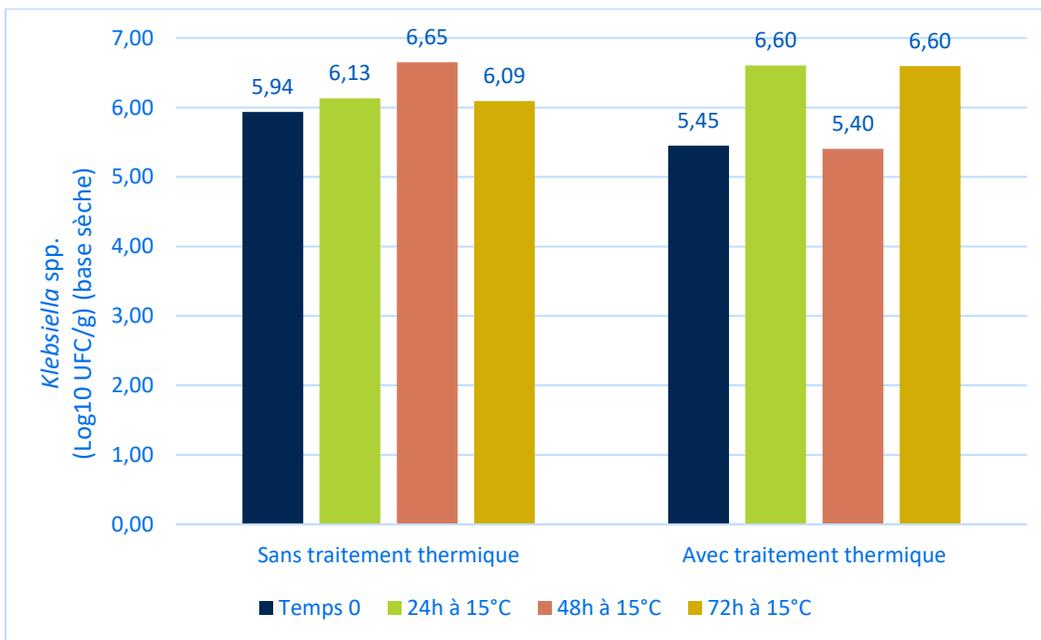
## Traitement 3 jours à 0.5 LPM

<b>Figure 22.</b> Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	13
<b>Figure 23.</b> Devenir des populations de <i>Klebsiella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	14
<b>Figure 24.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	14
<b>Figure 25.</b> Devenir des populations de <i>Staphylococcus aureus</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	15
<b>Figure 26.</b> Devenir des populations de <i>Salmonella</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	15
<b>Figure 27.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus</i> spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	16
<b>Figure 28.</b> Devenir des populations de <i>Streptococcus agalactiae</i> inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).....	16

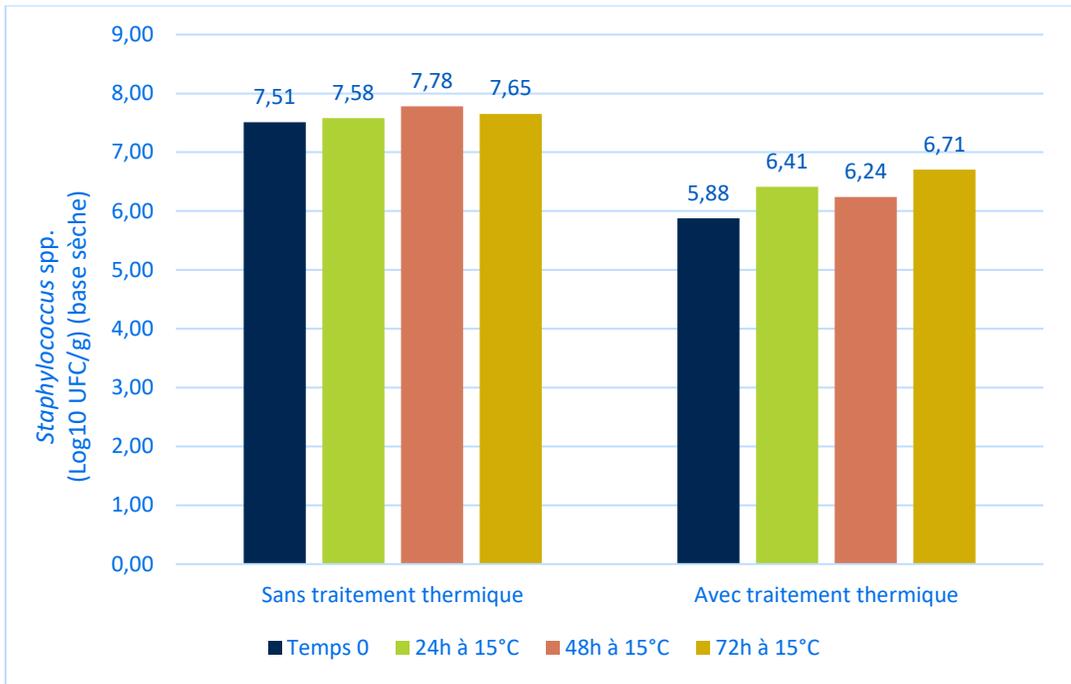
## Traitement 1 jour à 0.1 LPM



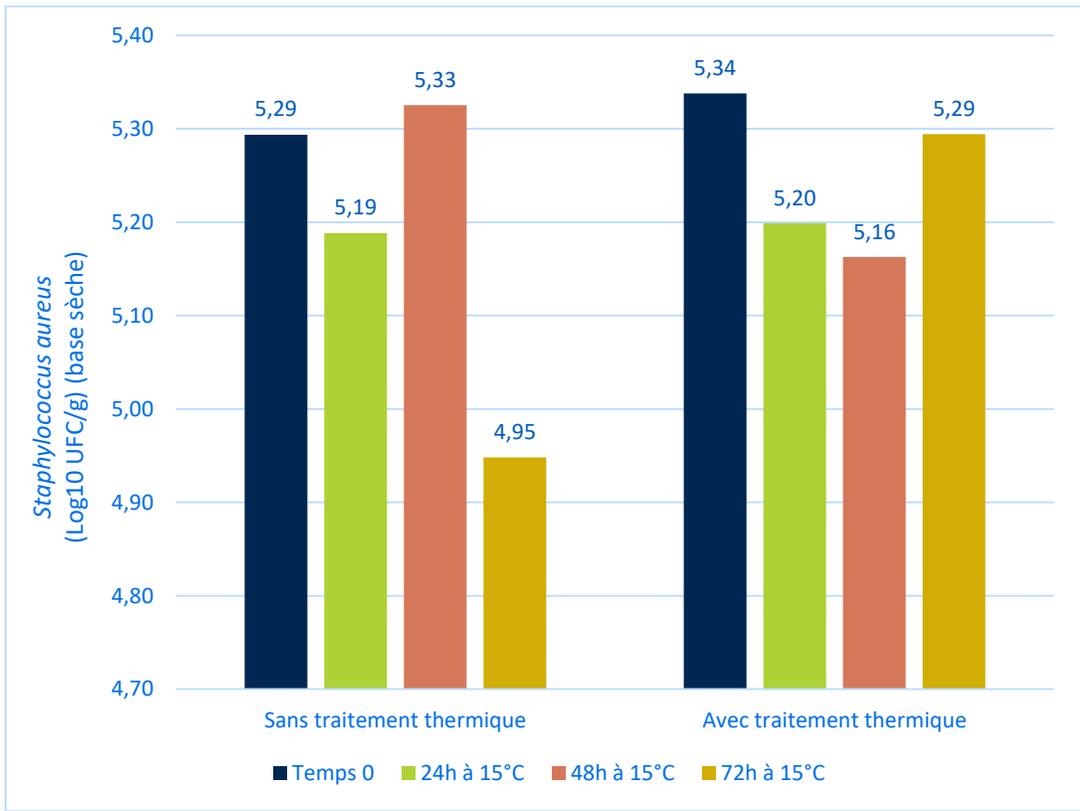
**Figure 1.** Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).



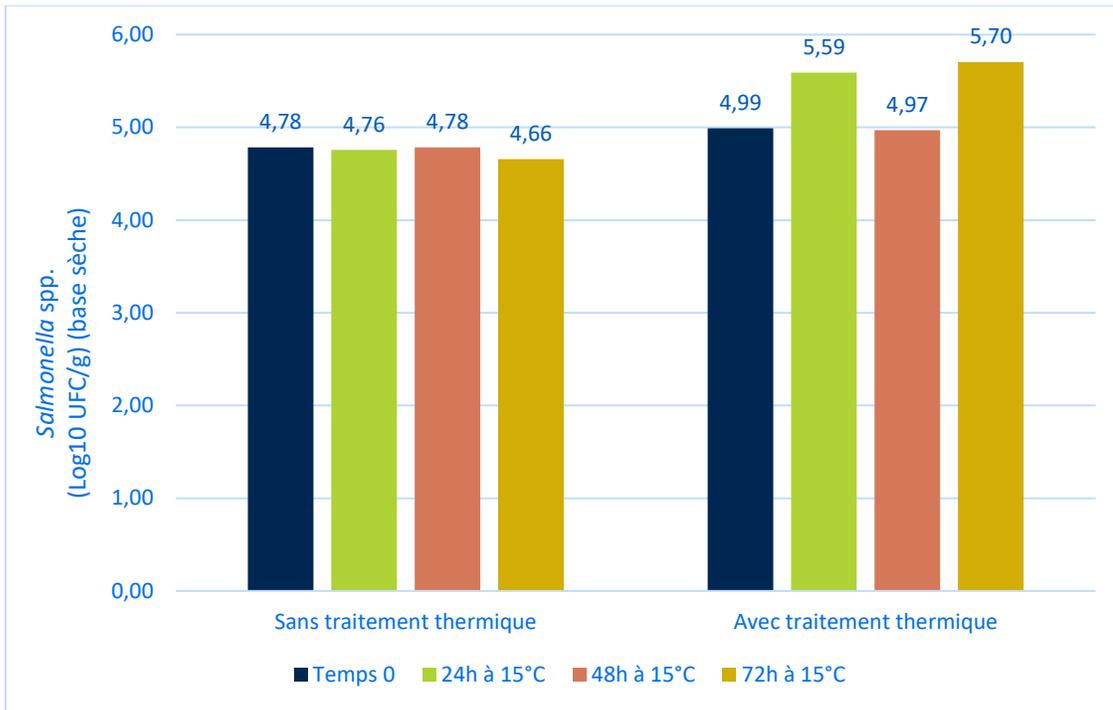
**Figure 2.** Devenir des populations de *Klebsiella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).



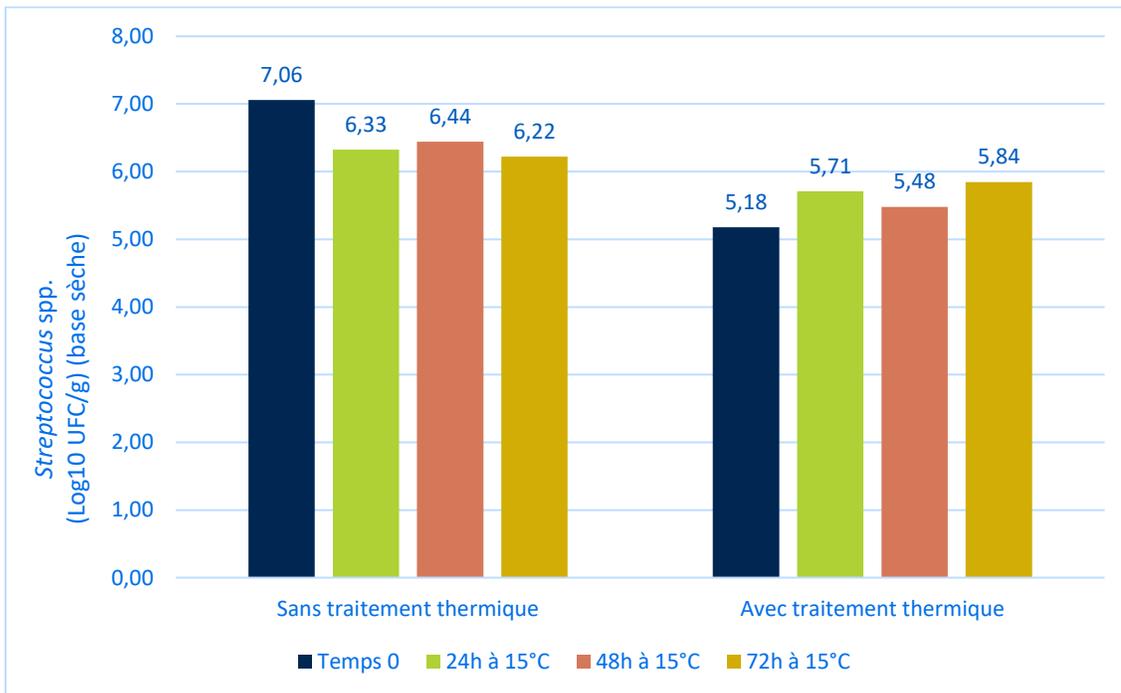
**Figure 3.** Devenir des populations de *Staphylococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).



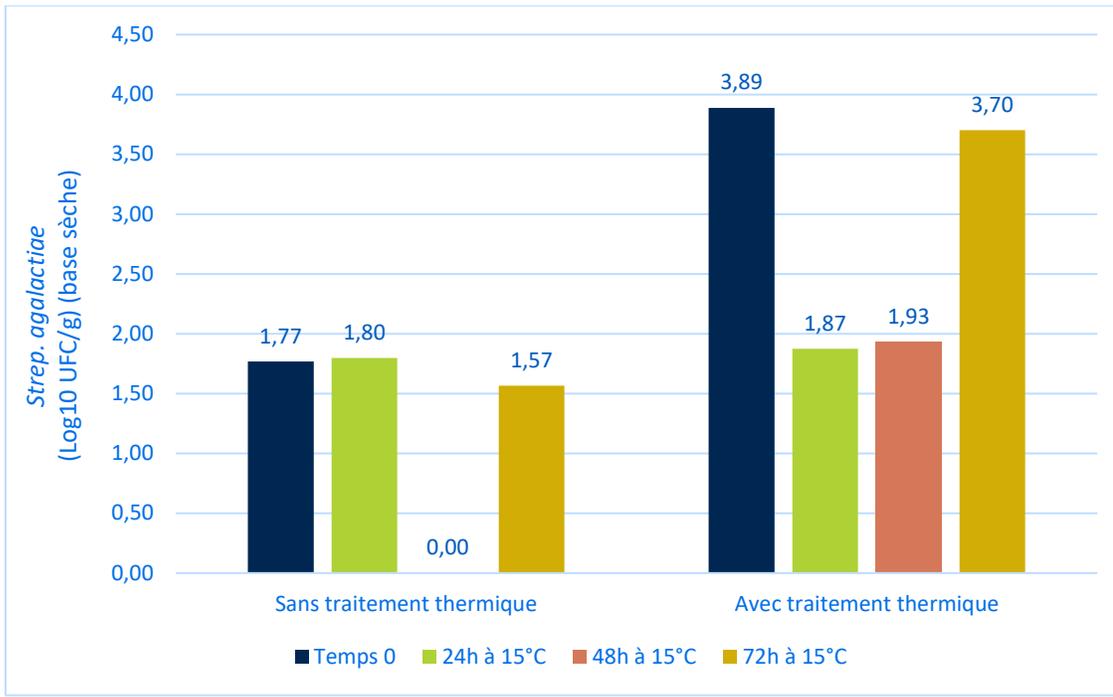
**Figure 4.** Devenir des populations de *Staphylococcus aureus* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).



**Figure 5.** Devenir des populations de *Salmonella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

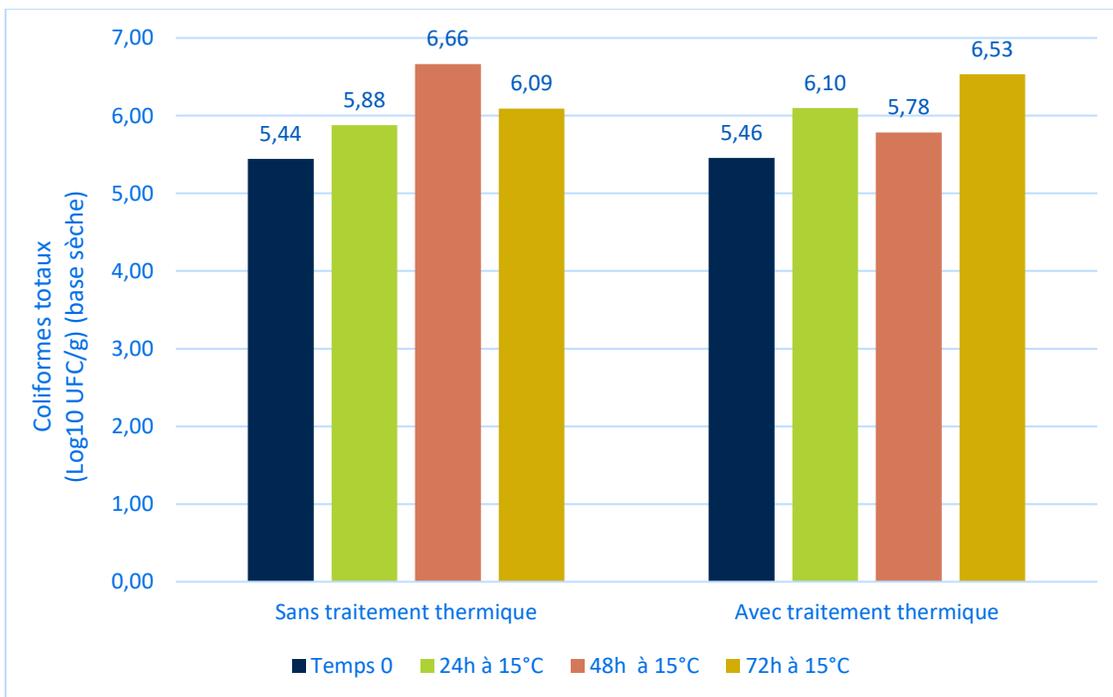


**Figure 6.** Devenir des populations de *Streptococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

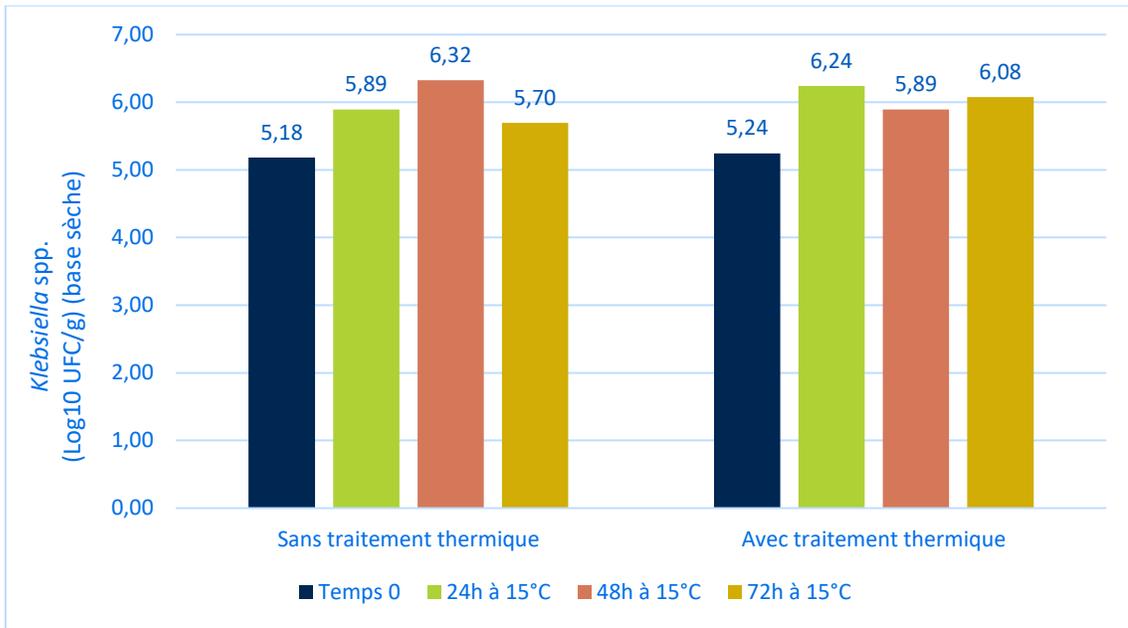


**Figure 7.** Devenir des populations de *Streptococcus agalactiae* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,1 LPM).

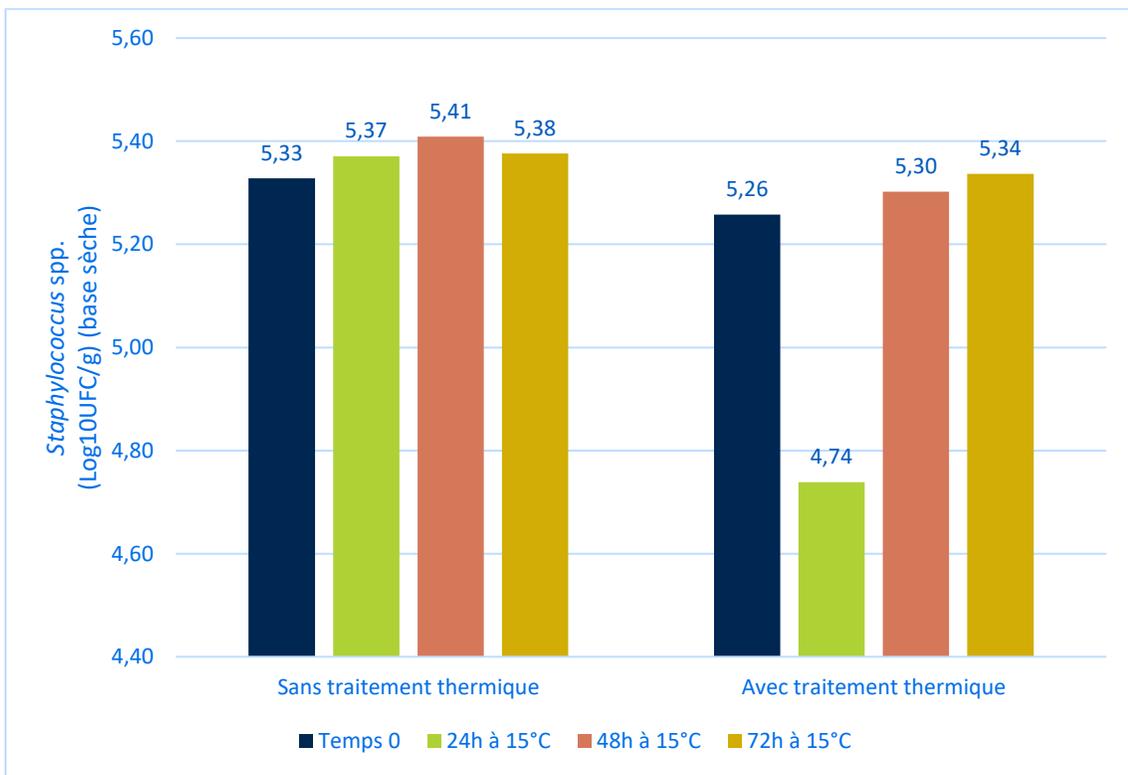
#### Traitement 1 jour à 0.5 LPM



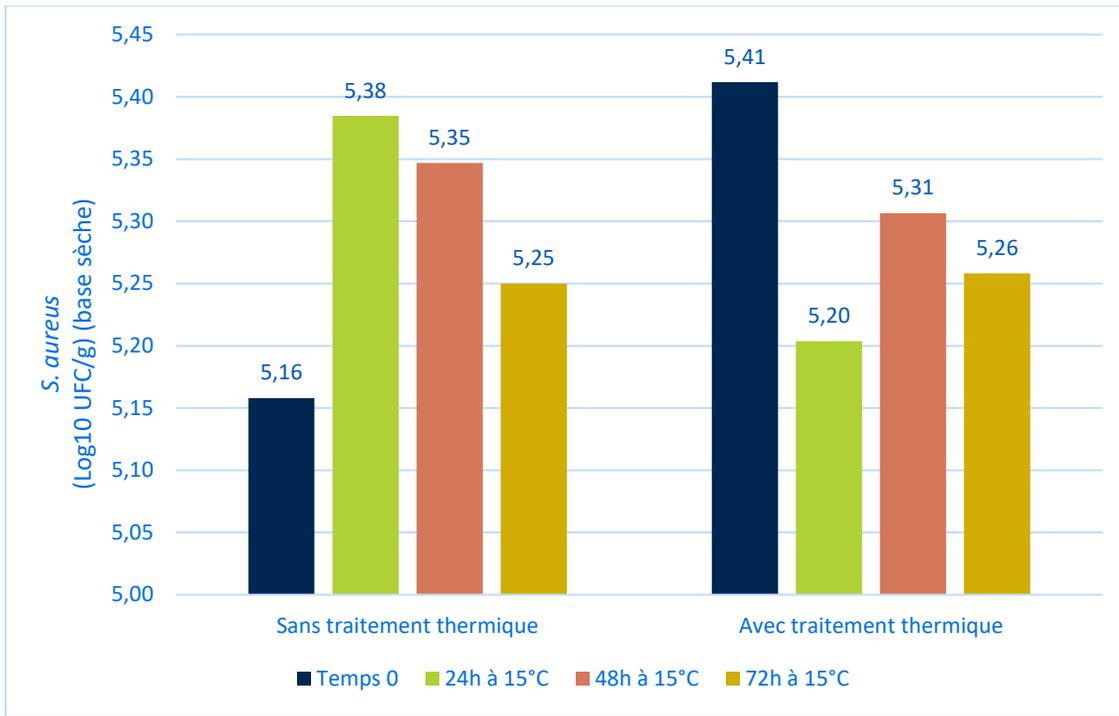
**Figure 8.** Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM)



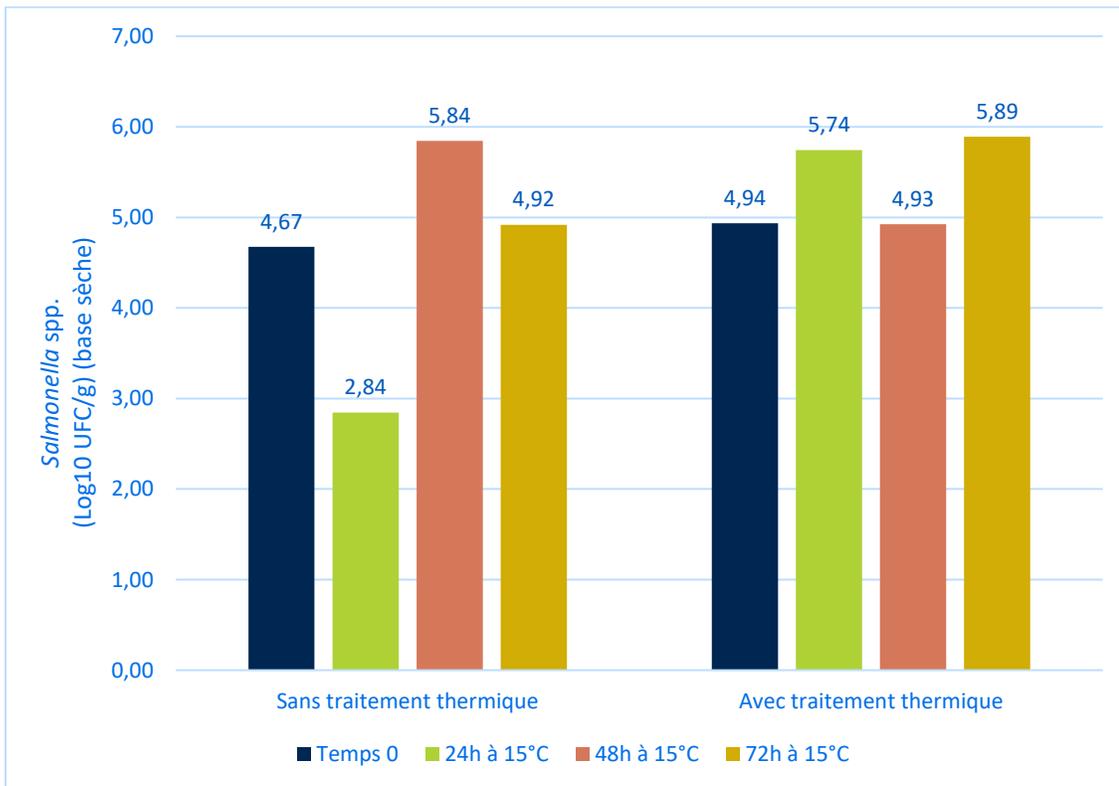
**Figure 9.** Devenir des populations de *Klebsiella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).



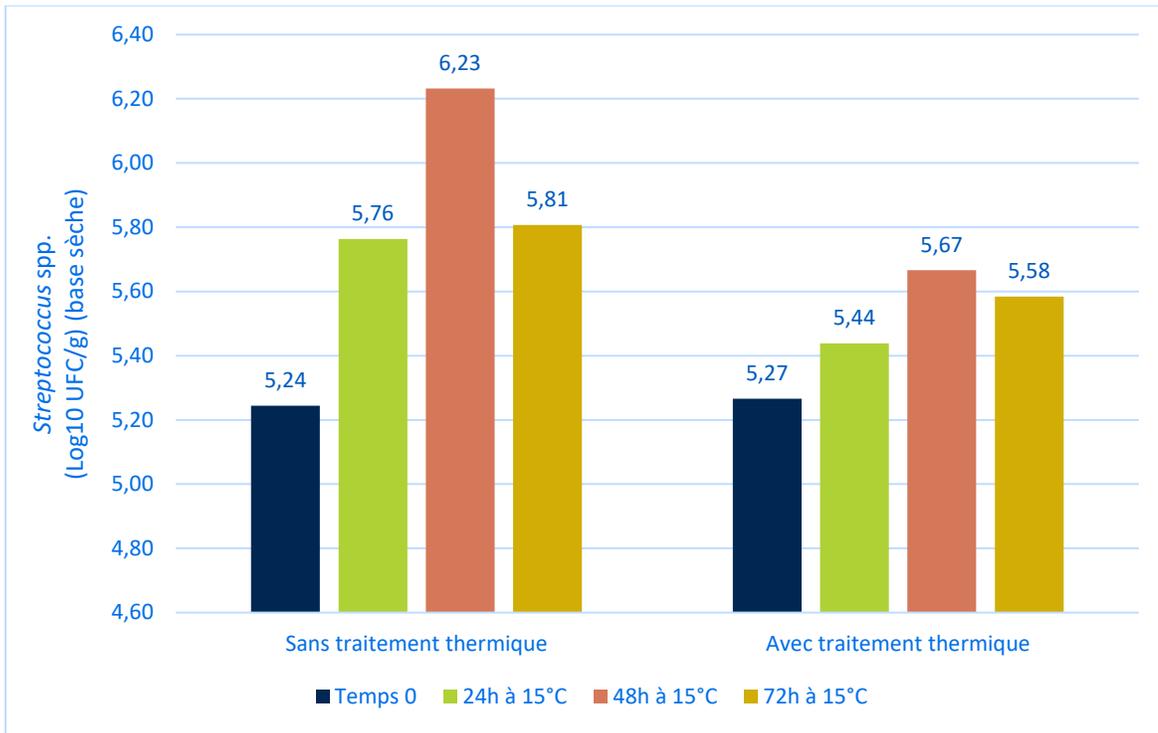
**Figure 10.** Devenir des populations de *Staphylococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).



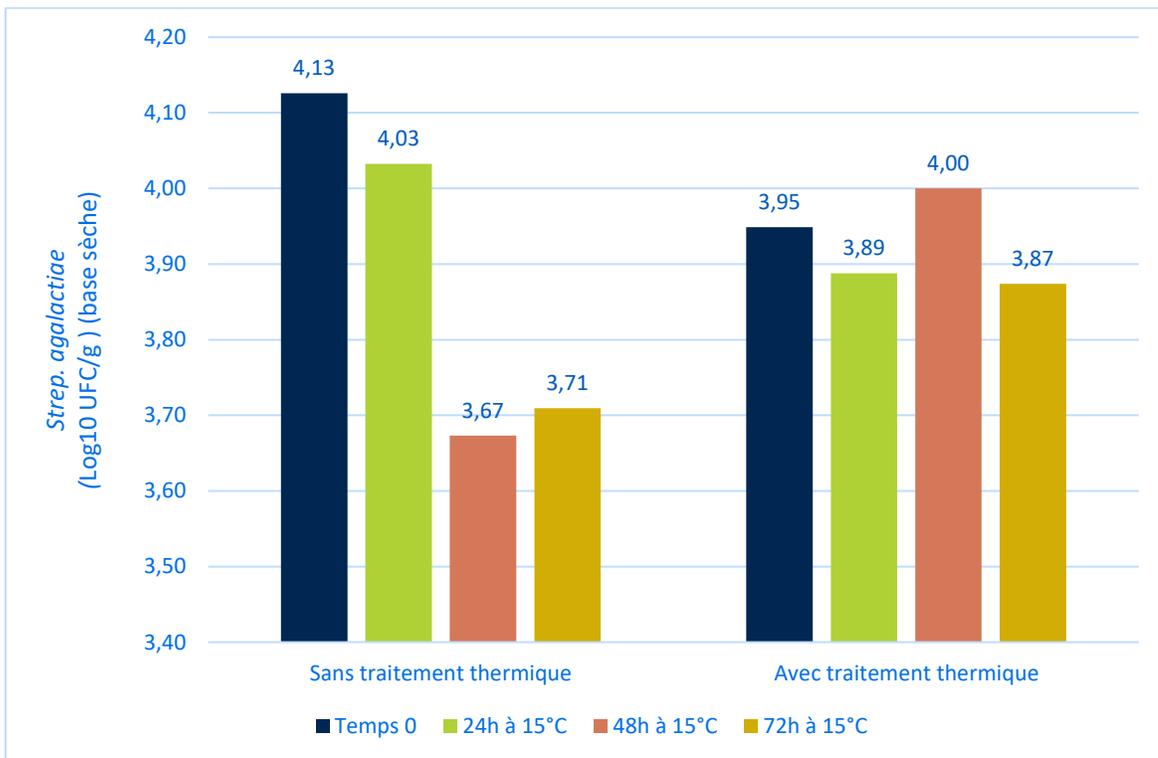
**Figure 11.** Devenir des populations de *Staphylococcus aureus* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).



**Figure 12.** Devenir des populations de *Salmonella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

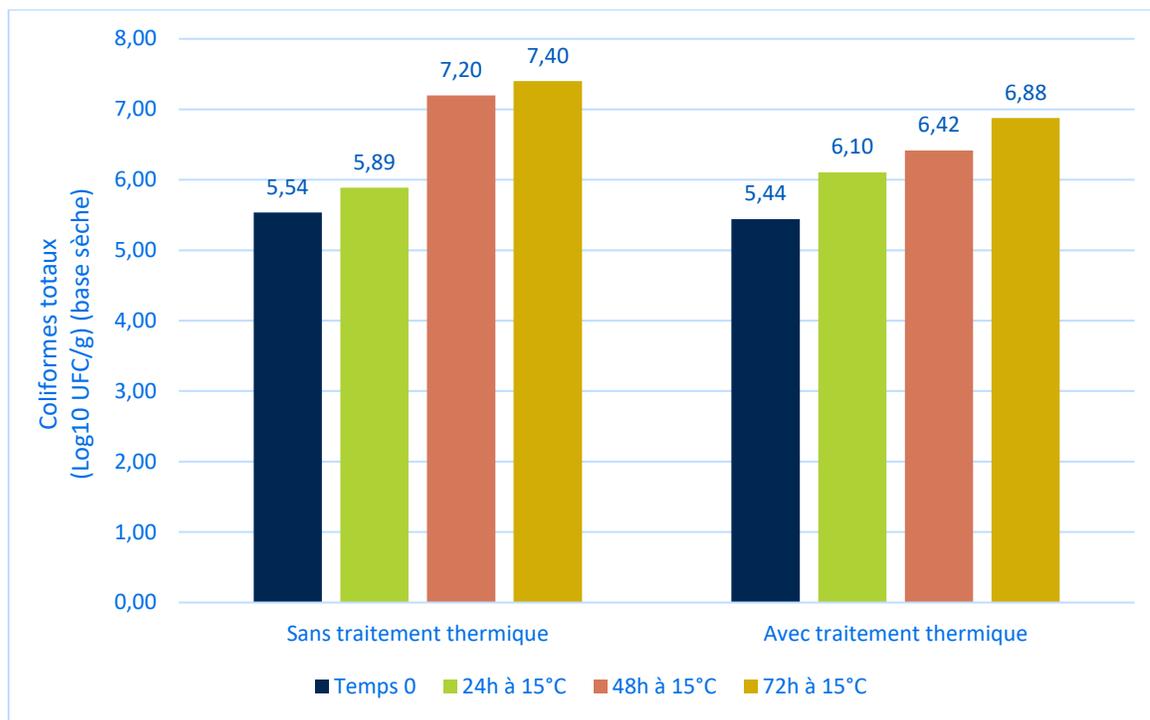


**Figure 13.** Devenir des populations de *Streptococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

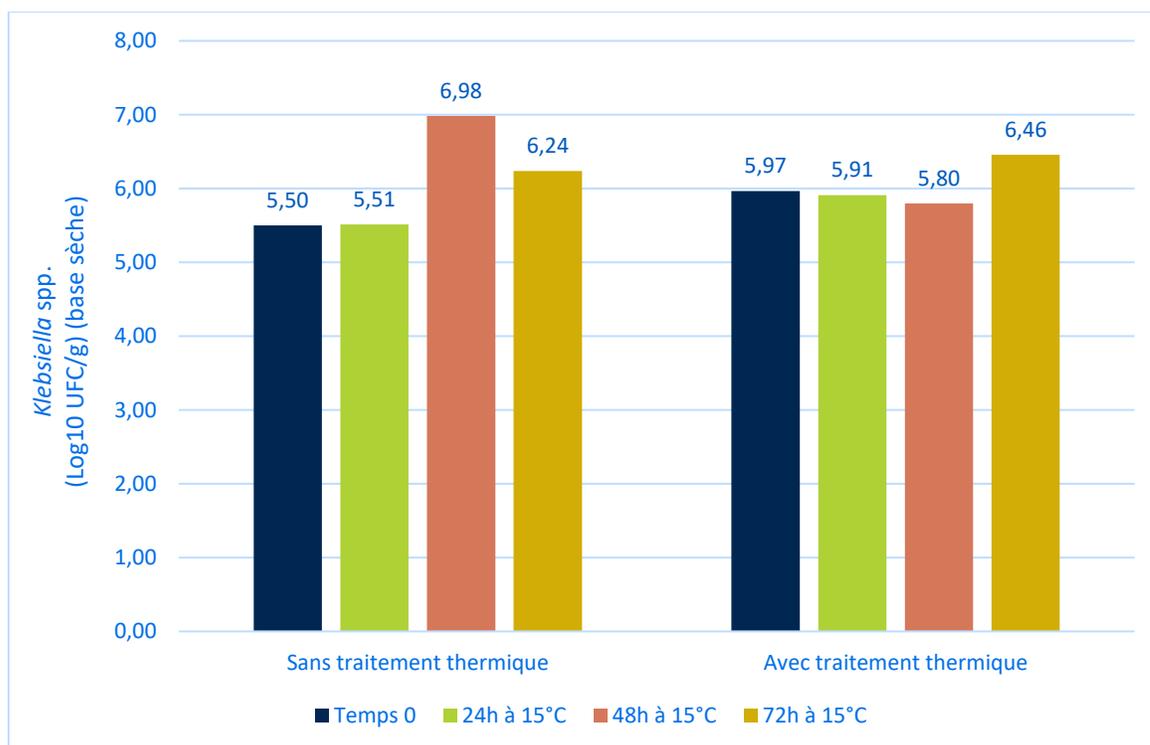


**Figure 14.** Devenir des populations de *Streptococcus agalactiae* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 1 jr à 0,5 LPM).

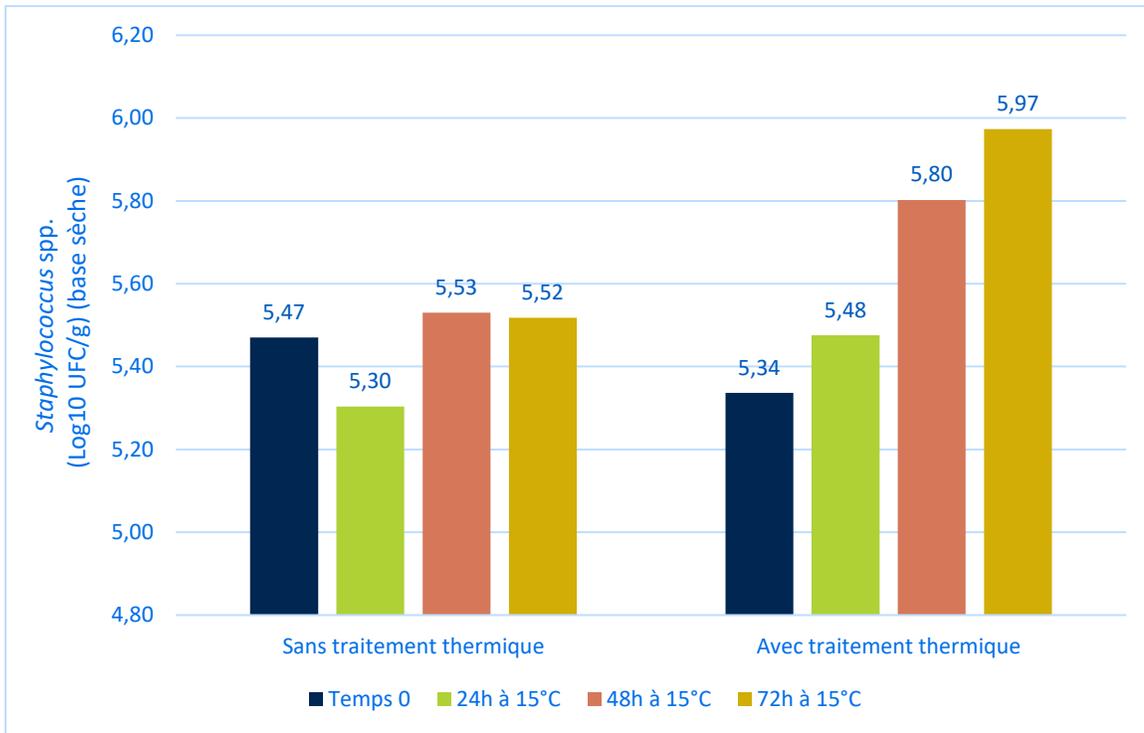
### Traitement 3 jours à 0.1 LPM



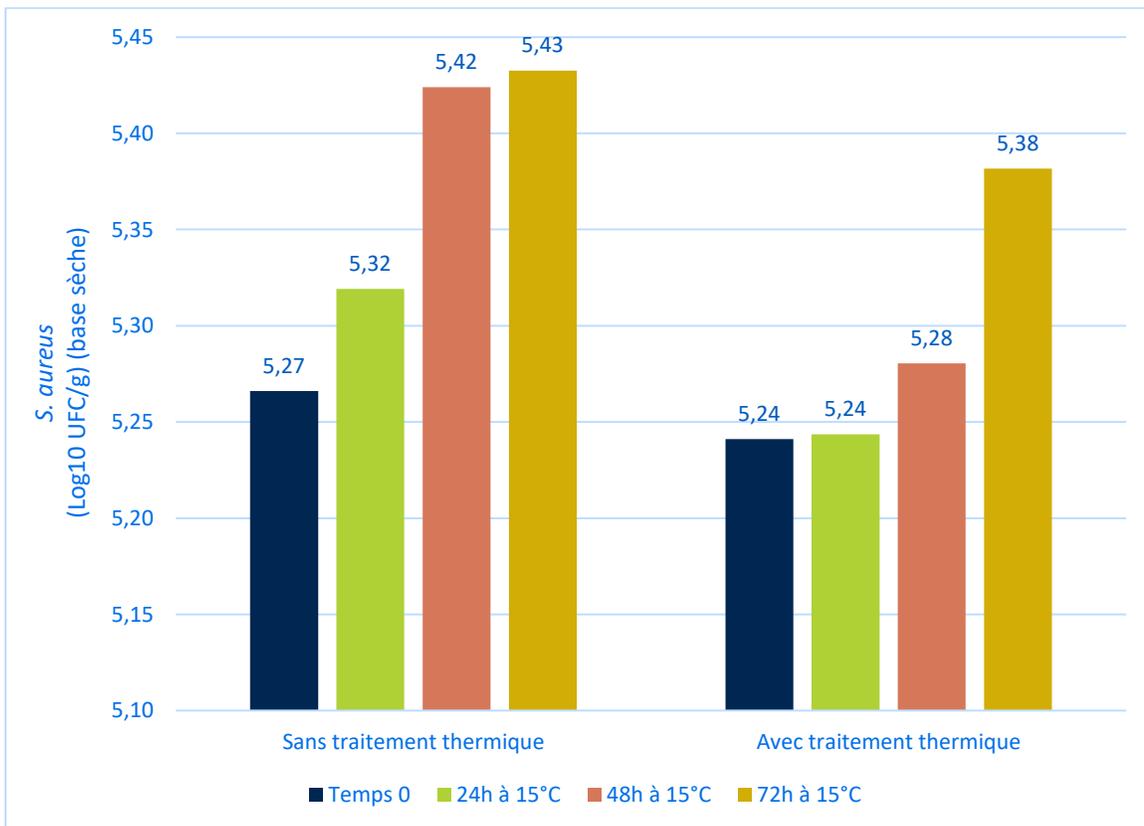
**Figure 15.** Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM)



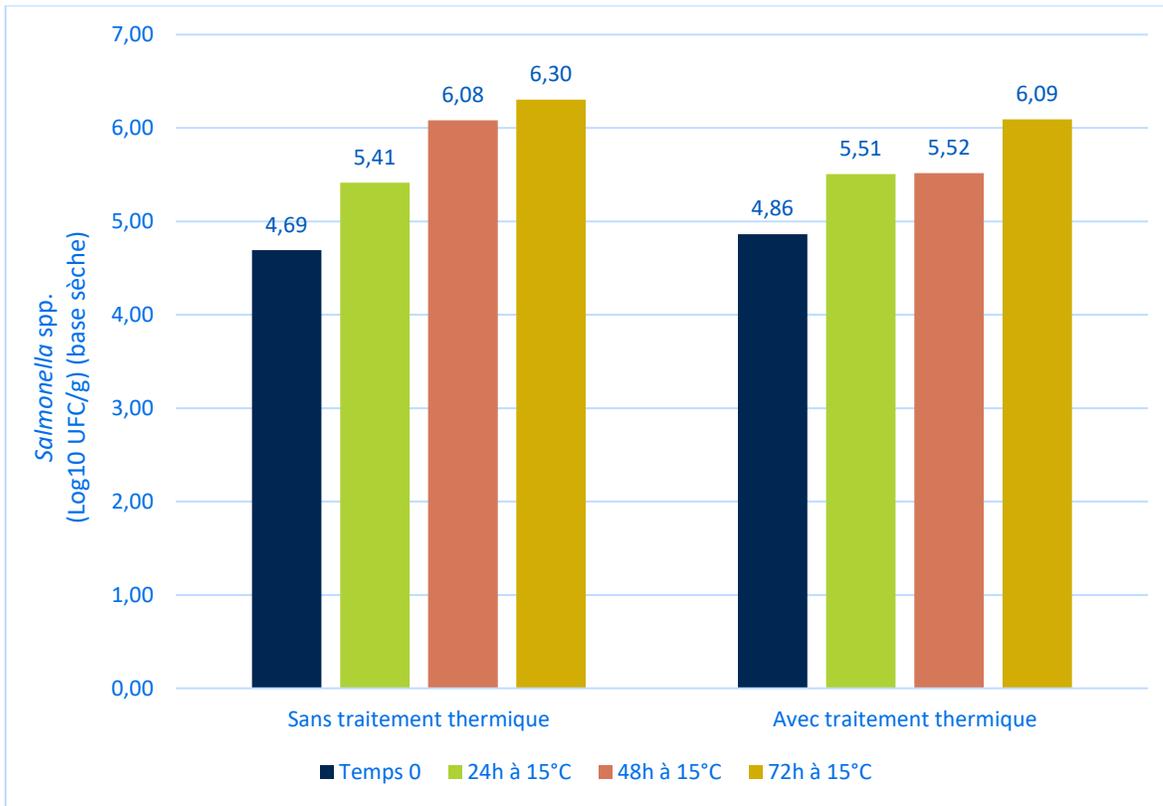
**Figure 16.** Devenir des populations de *Klebsiella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).



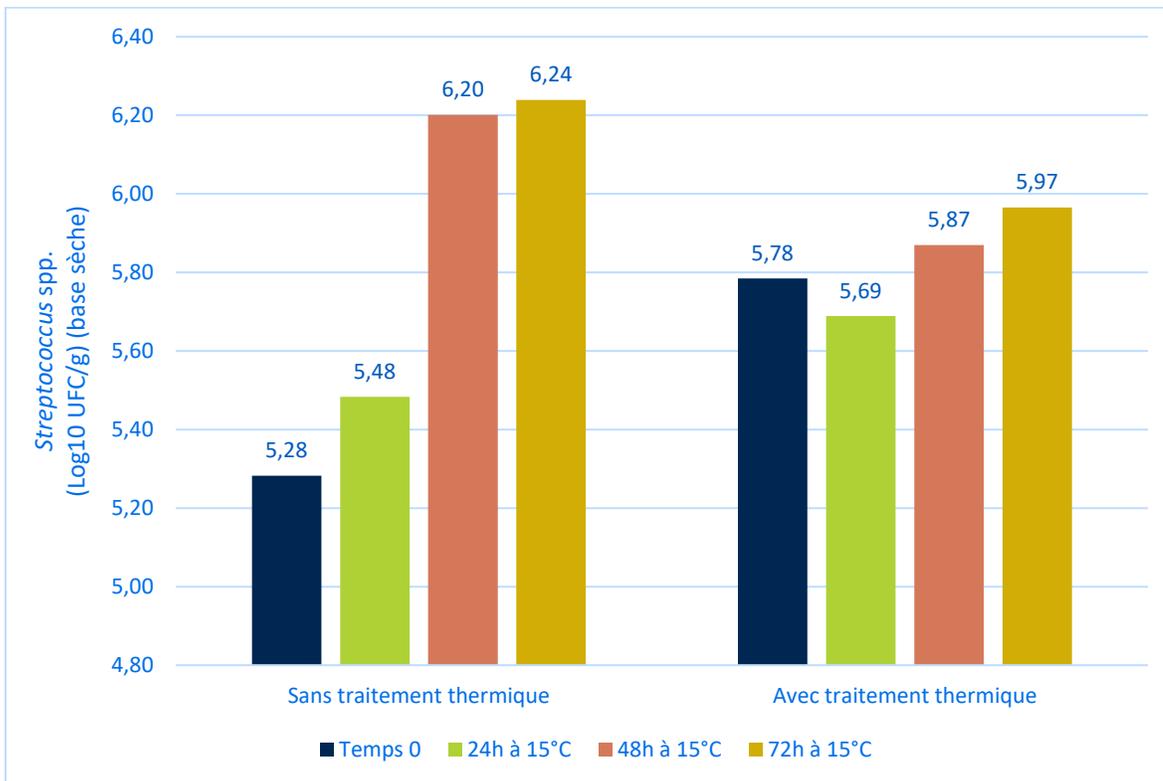
**Figure 17.** Devenir des populations de *Staphylococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).



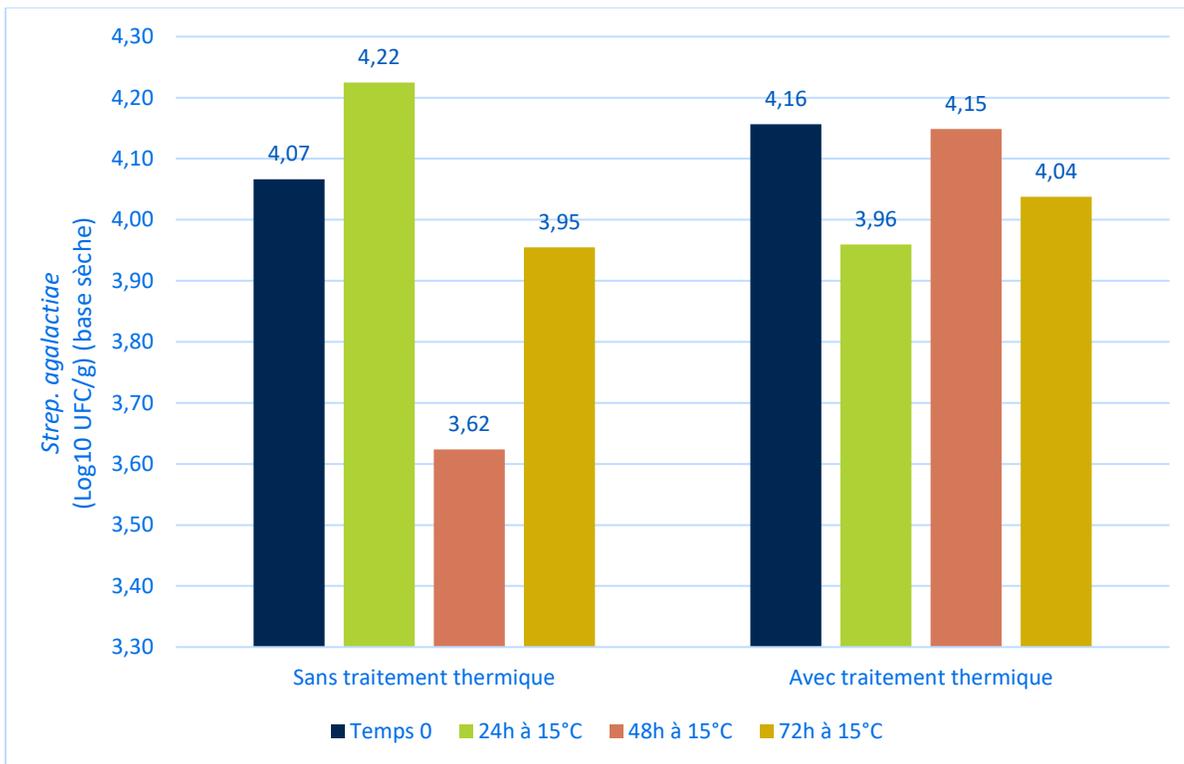
**Figure 18.** Devenir des populations de *Staphylococcus aureus* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).



**Figure 19.** Devenir des populations de *Salmonella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).

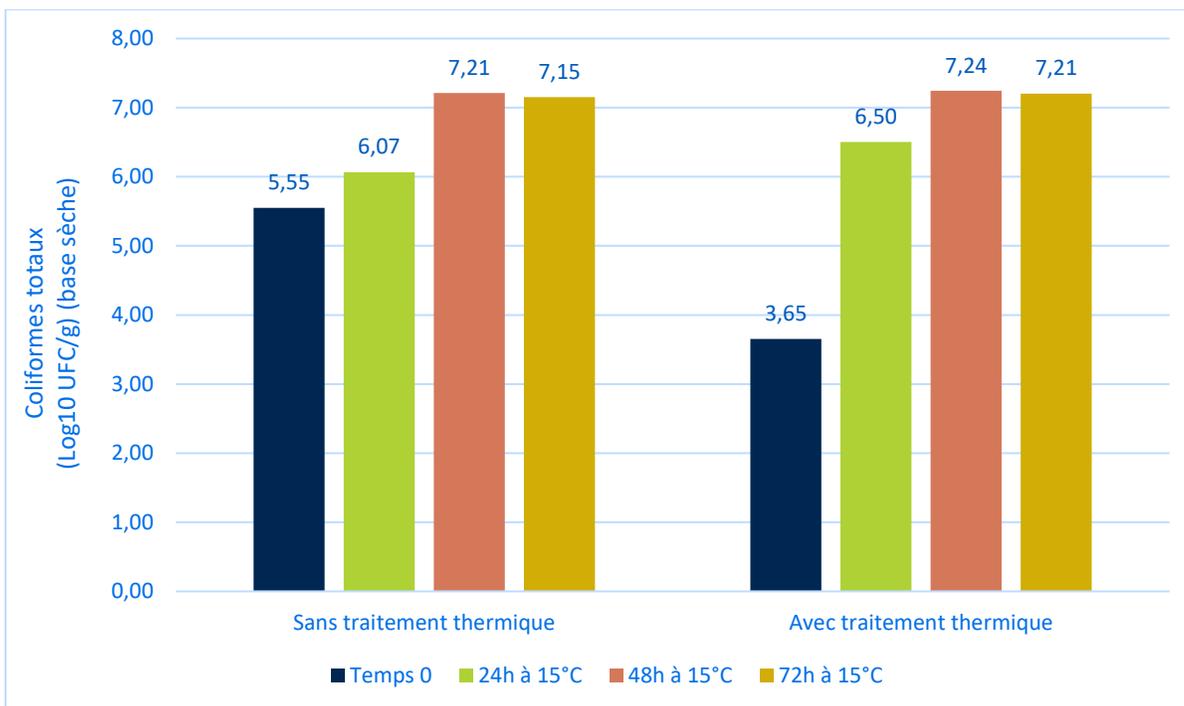


**Figure 20.** Devenir des populations de *Streptococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).

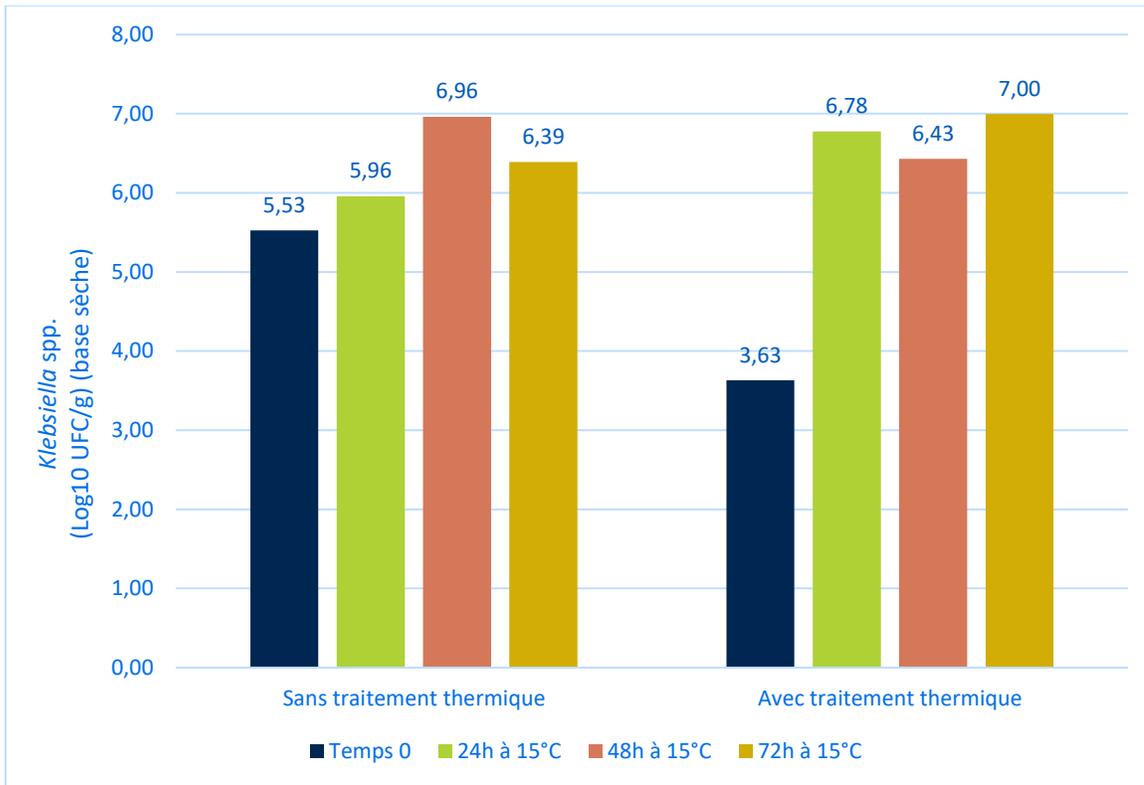


**Figure 21.** Devenir des populations de *Streptococcus agalactiae* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,1 LPM).

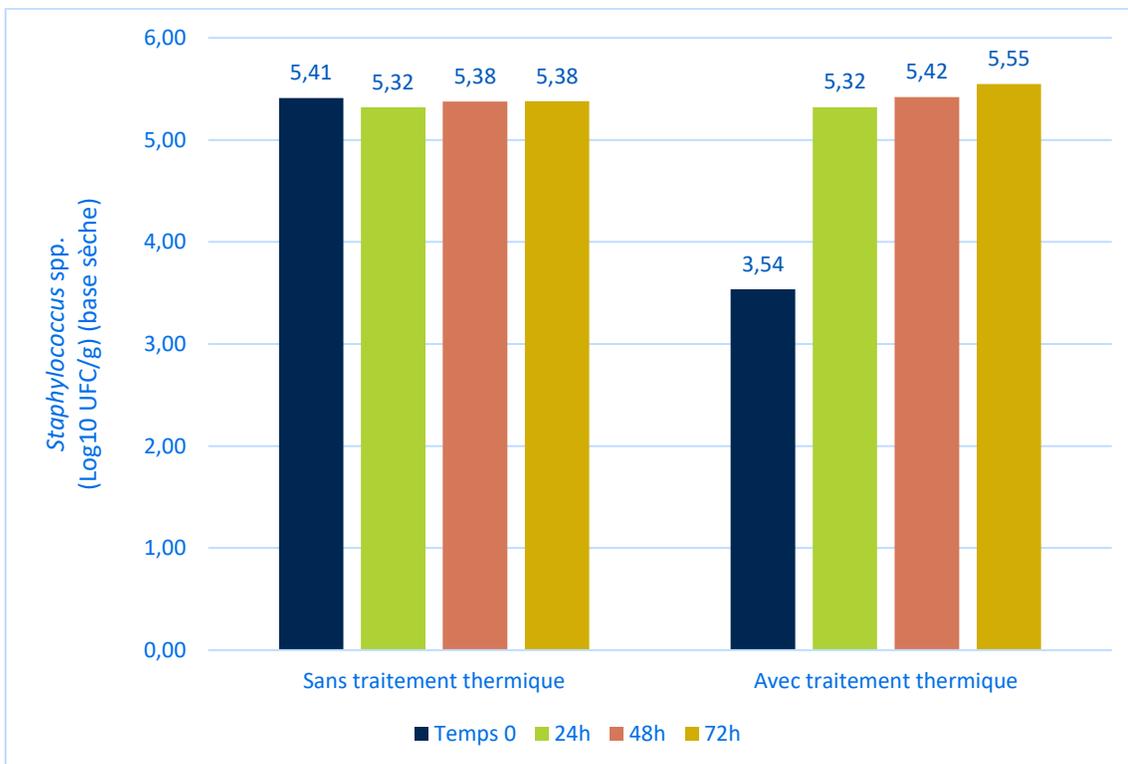
### Traitement 3 jours à 0.5 LPM



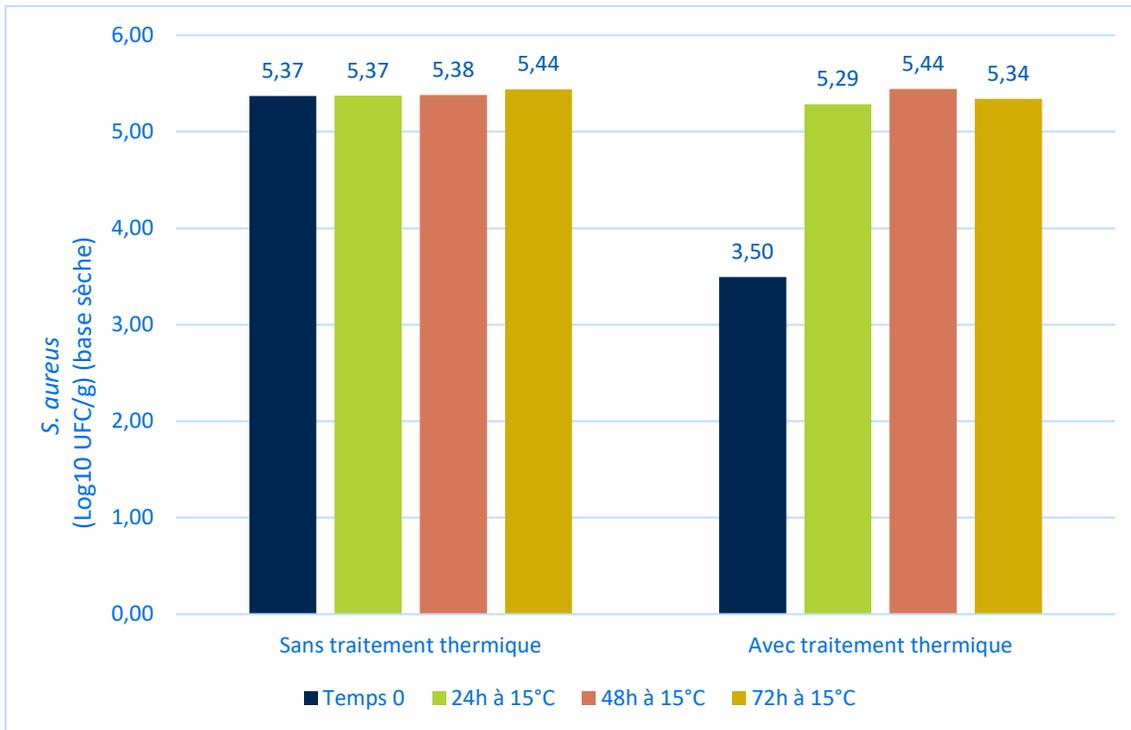
**Figure 22.** Devenir des populations de coliformes totaux inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM)



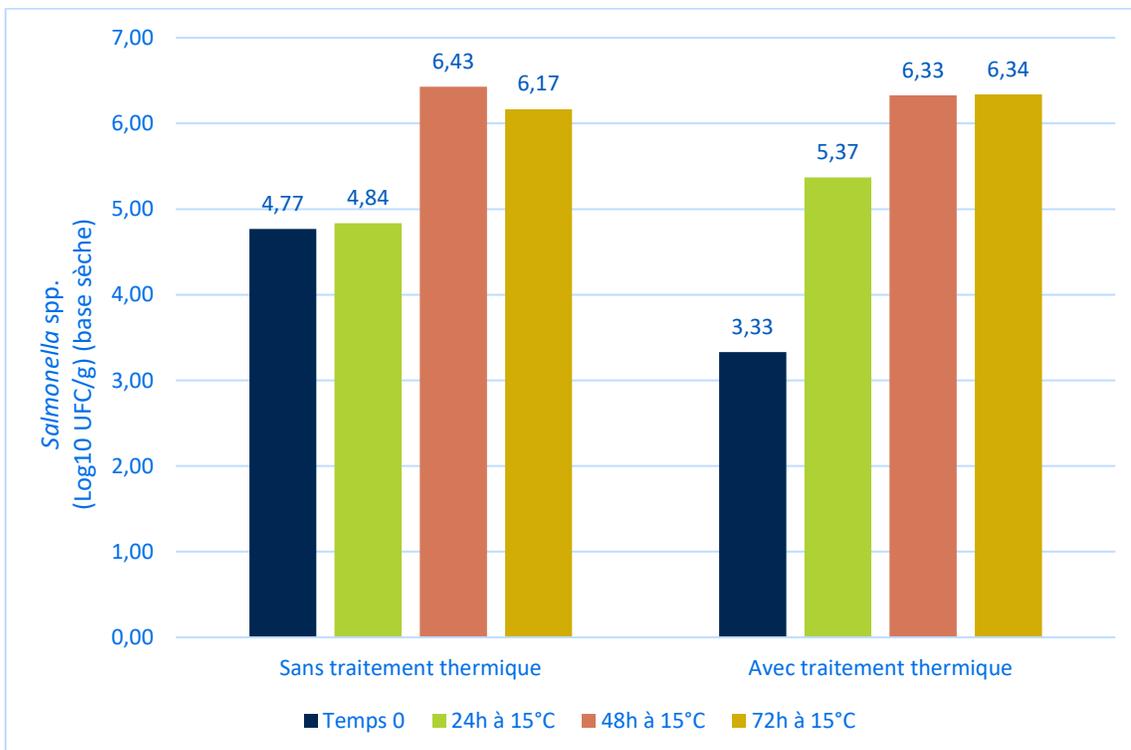
**Figure 23.** Devenir des populations de *Klebsiella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



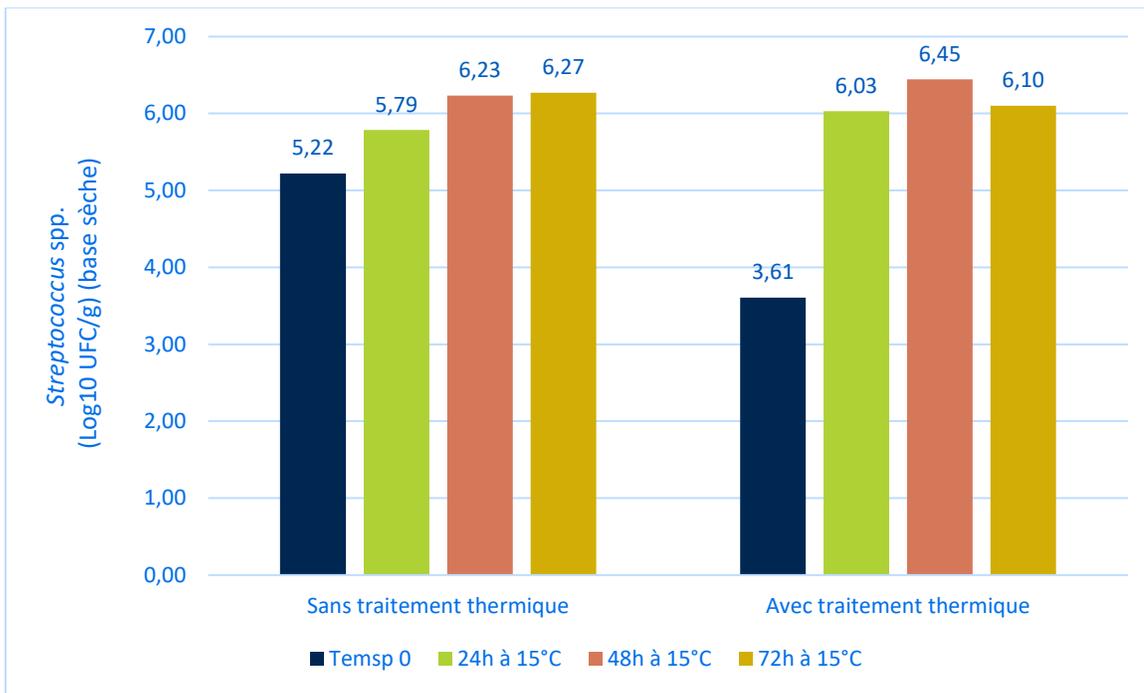
**Figure 24.** Devenir des populations de *Staphylococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



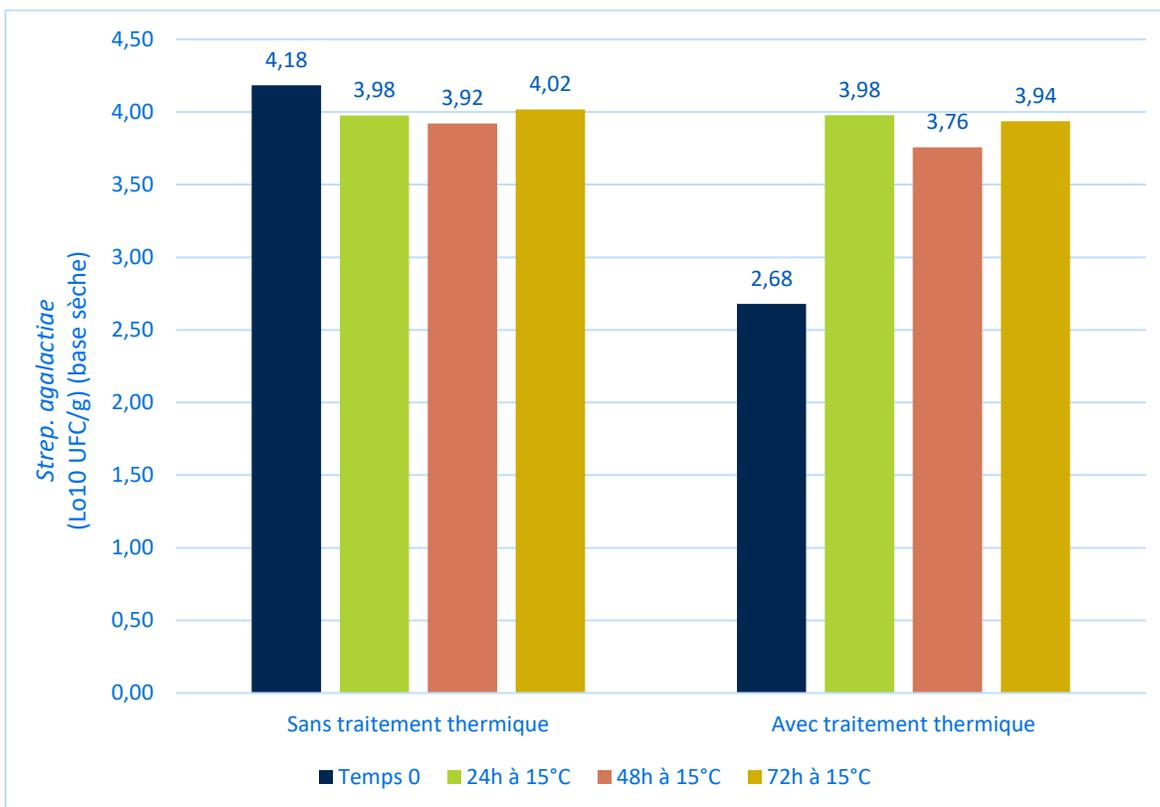
**Figure 25.** Devenir des populations de *Staphylococcus aureus* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 26.** Devenir des populations de *Salmonella* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 27.** Devenir des populations de *Streptococcus* spp. inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).



**Figure 28.** Devenir des populations de *Streptococcus agalactiae* inoculées artificiellement durant trois jours d'incubation à 15 °C (compostage 3 jrs à 0,5 LPM).