



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 136

ELABORATION D'UN SCORE DE L'INVOLUTION UTERINE CHEZ LA VACHE LAITIÈRE ET ETUDE DE L'IMPACT DE L'UTILISATION D'UN COMPLÉMENT ALIMENTAIRE SUR L'ÉTAT DE L'UTÉRUS ET LES TROUBLES MÉTABOLIQUES PERI-PARTUM

THÈSE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 4 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

DEGLETAGNE Angélique

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 136

ELABORATION D'UN SCORE DE L'INVOLUTION UTERINE CHEZ LA VACHE LAITIÈRE ET ÉTUDE DE L'IMPACT DE L'UTILISATION D'UN COMPLÉMENT ALIMENTAIRE SUR L'ÉTAT DE L'UTÉRUS ET LES TROUBLES MÉTABOLIQUES PERI-PARTUM

THÈSE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 4 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

DEGLETAGNE Angélique

Liste des enseignants du Campus vétérinaire de Lyon (07/11/2025)

Mme	ABITBOL	Marie	Professeur
M.	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Mme	BARRETT	Laura	Maître de conférences
Mme	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Mme	BECKER	Claire	Professeur
Mme	BELLUCO	Sara	Professeur
Mme	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
M.	BERNY	Philippe	Professeur
Mme	BLONDEL	Margaux	Maître de conférences
Mme	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur Émérite
M.	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Mme	BRASSARD	Colline	Maître de conférences
M.	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	Professeur
M.	BUFF	Samuel	Professeur
M.	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
M.	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
M.	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur Émérite
Mme	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Mme	CANNON	Leah	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	Professeur
Mme	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
M.	CHANOIT	Guillaume	Professeur
M.	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Mme	DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Mme	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Mme	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
M.	GALIA	Wessam	Maître de conférences
M.	GILLET	Benoit	Maître de conférences
Mme	GILOT	Emmanuelle	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Mme	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
M.	HUMBERT	Alexandre	Maître de conférences Stagiaire
M.	JUNOT	Stéphane	Professeur
M.	KIM	Mark	Maître de conférences Stagiaire
M.	KODJO	Angeli	Professeur
Mme	KRAFFT	Émilie	Maître de conférences
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	Professeur
Mme	LE GRAND	Dominique	Professeur
Mme	LEBLOND	Agnès	Professeur
Mme	LEDOUX	Dorothée	Maître de conférences
M.	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
M.	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	Professeur
M.	LURIER	Thibaut	Maître de conférences
M.	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	Professeur
Mme	MOSCA	Marion	Maître de conférences
M.	MOUNIER	Luc	Professeur
Mme	PEROZ	Carole	Maître de conférences
M.	PIN	Didier	Professeur
Mme	PONCE	Frédérique	Professeur
M.	PORPHYRE	Thibaud	Professeur Stagiaire
M.	PORSMOQUER	Charles	Maître de conférences Stagiaire
Mme	PORTIER	Karine	Professeur
Mme	POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Mme	PROUILLAC	Caroline	Professeur
M.	RACHED	Antoine	Maître de conférences

Mme REMY
Mme RENE MARTELLET
M. ROGER
M. SAWAYA
M. SCHRAMME
Mme SERGENTET
Mme STORCK
M. TORTEREAU
Mme VICTONI
M. ZENNER

Denise
Magalie
Thierry
Serge
Michaël
Delphine
Fanny
Antonin
Tatiana
Lionel

Professeur
Maître de conférences
Professeur
Maître de conférences
Professeur
Professeur
Professeur
Maître de conférences
Maître de conférences
Professeur

Remerciements au jury

À Madame la Professeure Jeanne-Marie Bonnet,

Vetagro Sup – Campus vétérinaire de Lyon

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,
Pour sa disponibilité et sa réactivité,
Qu'elle trouve ici l'expression de mes hommages respectueux.

À Monsieur le Docteur Adrien Bernard,

Clinique vétérinaire Optivet – Montrevel-en-Bresse

De tuteur de stage au cours de ma licence de biologie à directeur de thèse,
en passant par tuteur de tutorat, collègue et ami,
Pour son soutien, sa bienveillance et sa pédagogie tout au long de ce parcours
Qu'il reçoive ici l'expression de mes sincères remerciements.

À Madame la Professeure Claire Becker,

Vetagro Sup – Campus vétérinaire de Lyon

Pour m'avoir accompagnée et soutenue au cours de ces deux dernières années,
Pour tous vos précieux conseils et votre implication à la réalisation de cette thèse,
Pour votre bienveillance, votre gentillesse et votre disponibilité à chaque étape,
Qu'elle conserve ici le témoignage de mon éternelle reconnaissance.

À Monsieur le Professeur Pierre Bruyère,

Vetagro Sup – Campus vétérinaire de Lyon

Pour avoir accepté de faire partie de ce jury,
Pour m'avoir donné envie d'en apprendre davantage sur la reproduction bovine,
Qu'il garde ici l'assurance de ma profonde gratitude.

Table des matières

Liste des annexes	13
Liste des figures	15
Liste des tableaux	17
Liste des abréviations	19
Introduction	21
Partie 1 : Involution de l'utérus et maladies utérines et métaboliques du post-partum	23
I. Involution utérine	23
A. Définition et mécanismes physiologiques de l'involution utérine	23
1. <i>Modifications anatomiques</i>	23
a. <i>Réduction du poids et du volume de l'utérus</i>	23
b. <i>Réduction du diamètre et de la longueur des cornes utérines</i>	24
c. <i>Évolution du col de l'utérus</i>	24
2. <i>Modifications histologiques et physiologiques</i>	25
a. <i>Régénération tissulaire</i>	25
b. <i>Nécrose caronculaire</i>	25
c. <i>Contractions utérines</i>	26
d. <i>Élimination des lochies</i>	26
3. <i>Modifications bactériologiques et immunologiques</i>	27
a. <i>Colonisation bactérienne</i>	27
b. <i>Défenses propres à l'utérus</i>	27
c. <i>Défenses immunitaires</i>	28
4. <i>Limites des défenses utérines et immunitaires</i>	29
B. Facteurs influençant l'involution utérine	30
1. <i>Facteurs liés à la vache</i>	30
a. <i>Race</i>	30
b. <i>Parité</i>	30
c. <i>Note d'état corporel (NEC)</i>	31
d. <i>Statut immunitaire</i>	31
e. <i>Infections utérines</i>	32
f. <i>Troubles métaboliques et nutritionnels</i>	33
2. <i>Facteurs liés au vêlage</i>	33
a. <i>Gestation gémellaire</i>	33

b.	<i>Dystocie et interventions obstétricales.....</i>	34
c.	<i>Rétention placentaire</i>	34
II.	Bilan énergétique négatif.....	36
A.	Contexte physiologique et métabolique du bilan énergétique négatif	36
B.	Impact du BEN sur l'involution utérine	36
1.	<i>Influence du BEN sur les mécanismes de mort cellulaire</i>	36
2.	<i>Influence du BEN sur la réponse immunitaire et la réparation tissulaire</i>	37
C.	Évaluation du BEN en pratique.....	38
1.	<i>Appréciation morphologique : la note d'état corporel (NEC).....</i>	38
2.	<i>Appréciation biochimique : dosages métaboliques</i>	38
III.	Hypocalcémie post-partum.....	39
A.	Physiopathologie de l'hypocalcémie post-partum.....	39
B.	Impact de l'hypocalcémie sur l'involution utérine	39
1.	<i>Influence de l'hypocalcémie sur la régression anatomique de l'utérus ..</i>	39
2.	<i>Influence de l'hypocalcémie sur la contractilité myométriale</i>	40
3.	<i>Influence de l'hypocalcémie sur la fonction immunitaire</i>	40
C.	Évaluation de la calcémie en pratique	41
1.	<i>Les différentes fractions du calcium et définition des seuils</i>	41
2.	<i>Limites du calcium total (tCa) et intérêt du calcium ionisé (iCa).....</i>	41
3.	<i>Modalités pratiques</i>	41
IV.	Infections utérines post-partum	42
A.	Généralités et définitions	42
B.	Diagnostic des infections utérines en pratique	43
1.	<i>Examen clinique général et transrectal.....</i>	43
2.	<i>Examen vaginal</i>	43
3.	<i>Autres moyens diagnostiques</i>	44
4.	<i>Limites diagnostiques</i>	45
C.	Thérapeutique des infections utérines post-partum	45
Partie 2 : État des lieux de l'évaluation de l'involution utérine et élaboration d'un score .		47
I.	État des connaissances	47
A.	Temps et critères d'achèvement de l'involution utérine	47
B.	Les techniques d'évaluation de l'involution utérine	48
1.	<i>Évolution et diversité des approches d'évaluation.....</i>	48

2.	<i>Palpation transrectale</i>	49
3.	<i>Examen vaginal</i>	50
C.	Les scores proposés dans les études scientifiques.....	51
1.	<i>Les scores basés sur la palpation transrectale</i>	51
2.	<i>Les scores basés sur l'examen vaginal et les pertes utérines</i>	52
3.	<i>Les scores combinés intégrant plusieurs critères</i>	53
4.	<i>Autres approches expérimentales</i>	54
II.	Élaboration d'un score de l'involution utérine	56
A.	Contexte et choix de la méthode d'évaluation	56
B.	Choix des paramètres évalués.....	56
1.	<i>Ouverture du col utérin (D)</i>	57
2.	<i>Aspect des glaires cervico-vaginales (G)</i>	57
3.	<i>Taille de l'utérus (T)</i>	60
C.	Construction du score global d'involution utérine.....	60
D.	Validation préliminaire du score d'involution utérine sur le terrain	63
Partie 3 : Étude terrain de l'impact du C for UtéroPhyt sur l'état utérin et métabolique ..		65
I.	Contexte et objectifs de l'étude.....	65
II.	Matériels et méthodes.....	66
A.	Lieux et population d'étude	66
1.	<i>Choix des exploitations</i>	66
2.	<i>Choix des animaux</i>	67
B.	Protocole expérimental	68
1.	<i>Approbation</i>	68
2.	<i>Type d'étude</i>	68
3.	<i>Intervention</i>	68
4.	<i>Examen gynécologique</i>	69
5.	<i>Prélèvements sanguins et analyses biochimiques</i>	70
a.	<i>Méthode de prélèvement</i>	70
b.	<i>Dosage des bêta-hydroxybutyrates</i>	70
c.	<i>Dosage du calcium</i>	70
C.	Variables étudiées et analyse statistique	71
III.	Résultats.....	72
A.	Analyses descriptives.....	72

1.	<i>Effectif</i>	72
2.	<i>Race</i>	73
3.	<i>Rang de lactation</i>	73
4.	<i>Jours post-partum</i>	75
5.	<i>Involution utérine</i>	76
a.	<i>Paramètres D, G, T et S</i>	76
b.	<i>Distribution score total d'involution utérine</i>	78
6.	<i>Concentration en BHB</i>	79
7.	<i>Concentration en calcium</i>	80
a.	<i>Calcium total</i>	80
b.	<i>Calcium ionisé</i>	81
8.	<i>Infections utérines</i>	82
B.	<i>Analyses de corrélation</i>	83
1.	<i>Corrélations à partir du calcium</i>	83
a.	<i>Calcium ionisé x Calcium total</i>	83
b.	<i>Calcium total x rang de lactation</i>	83
c.	<i>Calcium ionisé x rang de lactation</i>	84
d.	<i>Calcium total ou ionisé x Infection utérine</i>	85
2.	<i>Corrélations à partir des BHB</i>	85
a.	<i>BHB x Rang de lactation</i>	85
b.	<i>BHB x Infection utérine</i>	86
3.	<i>Corrélations à partir de l'involution utérine</i>	87
a.	<i>Involution utérine x Calcium total</i>	87
b.	<i>Involution utérine x Calcium ionisé</i>	87
c.	<i>Involution utérine x BHB</i>	88
d.	<i>Involution utérine x infection utérine</i>	89
C.	<i>Analyses inférentielles</i>	90
1.	<i>Effet du complément UTP sur le score total d'involution utérine</i>	90
2.	<i>Effet du complément UTP sur les BHB</i>	91
3.	<i>Effet du complément UTP sur le calcium total</i>	92
4.	<i>Effet du complément UTP sur le calcium ionisé</i>	93
5.	<i>Effet du complément UTP sur les infections utérines</i>	94
6.	<i>Modèle linéaire mixte prenant en compte toutes les variables</i>	95
IV.	<i>Discussion</i>	96

A.	Rappels des objectifs de l'étude	96
A.	Corrélations entre les paramètres métaboliques et l'état utérin	96
1.	<i>Involution utérine</i>	96
2.	<i>Calcium total et calcium ionisé</i>	97
B.	Analyse critique des effets du bolus C for UtéroPhyt	98
1.	<i>Effet sur l'involution utérine</i>	98
2.	<i>Effet sur les paramètres métaboliques</i>	99
3.	<i>Effet sur les infections utérines</i>	100
C.	Améliorations du protocole et perspectives	101
	Conclusion	103
	Bibliographie	105
	Annexes	109

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Consentement éclairé à destination des éleveurs participant à l'étude.....	109
Annexe II : Script Rstudio pour le modèle linéaire mixte prenant en compte l'ensemble des variables.....	110

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Facteurs influençant l'involution utérine	35
Figure 2 : Illustration des trois scores basés sur la taille et la position du tractus génital.....	51
Figure 3 : Schéma représentant l'évolution du score de l'involution utérine.....	62
Figure 4 : Situation géographique des trois exploitations étudiées.....	67
Figure 5 : Répartition des vaches traitées et non traitées dans les trois élevages (A, B, C)	73
Figure 6 : Répartition des vaches traitées et non traitées selon le RL par élevage et dans la population	74
Figure 7 : Distribution du rang de lactation en fonction du traitement par élevage et dans la population	75
Figure 8 : Distribution des jours post-partum en fonction du traitement par élevage et dans la population	75
Figure 9 : Évolution des paramètres d'involution utérine (Col, Glaire, Taille, Score d'involution) en fonction des jours post-partum et selon le statut du traitement	77
Figure 10 : Relation entre le score total d'involution utérine et les jours post-partum	78
Figure 11 : Distribution de la concentration en BHB en fonction du traitement par élevage et dans la population	79
Figure 12 : Distribution de la concentration en tCa en fonction du traitement par élevage et dans la population	80
Figure 13 : Distribution de la concentration en iCa en fonction du traitement par élevage et dans la population	81
Figure 14 : Distribution du grade de métrite chez les vaches traitées et les vaches non traitées.....	82
Figure 15 : Corrélation entre la concentration en calcium total et en calcium ionisé.....	83
Figure 16 : Corrélation entre la concentration en calcium total et le rang de lactation.....	84
Figure 17 : Corrélation entre la concentration en calcium ionisé et le rang de lactation.....	84
Figure 18 : Corrélation entre la concentration en calcium total et le score d'infection utérine	85
Figure 19 : Corrélation entre la concentration en beta-hydroxybutyrate et le rang de lactation	86
Figure 20 : Corrélation entre la concentration en beta-hydroxybutyrate et le score d'infection utérine	86
Figure 21 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium total < 2,0 mmol/L	87
Figure 22 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium ionisé	88
Figure 23 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en beta-hydroxybutyrates	88
Figure 24 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et le score d'infection utérine.....	89
Figure 25 : Évolution du score total d'involution utérine en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées.....	91
Figure 26 : Évolution de la concentration des beta-hydroxybutyrates en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées	92
Figure 27 : Évolution de la concentration du calcium total en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées.....	93
Figure 28 : Évolution de la concentration du calcium ionisé en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées.....	94

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Régression anatomique de l'utérus après le vêlage	50
Tableau II : Description du score de l'involution utérine	53
Tableau III : Résumé de l'ensemble des corrélations entre les variables étudiées.....	89
Tableau IV : Récapitulatif des résultats statistiques pour le modèle linéaire mixte intégrant toutes les variables	95

LISTE DES ABREVIATIONS

AGNE - Acides gras non estérifiés
ATP - Adénosine triphosphate
BEN - Bilan énergétique négatif
BHB - Béta-hydroxybutyrate
D - Ouverture du col utérin
DCV - Distance col-vulve
G - Aspect des glaires cervico-vaginales
iCa - Calcium ionisé
IQR - Intervalle interquartile
JPP - Jours post-partum
n - Taille de l'échantillon
NA - Not available
NEC - Note d'état corporel
OR – Odds ratio
PGE2 - Prostaglandines E2
PGF2 α - Prostaglandines de type F2a
r - Coefficient de corrélation de Pearson
rho - Coefficient de corrélation de Spearman
RL - Rang de lactation
S - Score de l'involution utérine
SPS - Size and position score
T - Taille de l'utérus
tCa - Calcium total
UI - Unité internationale
UTP - UtéroPhyt

INTRODUCTION

Chez la vache laitière, la période du post-partum constitue une étape clé du cycle reproductif. Durant les semaines qui suivent le vêlage, l'organisme doit s'adapter rapidement au passage de la gestation à la lactation, tout en rétablissant l'intégrité anatomique et fonctionnelle de l'appareil reproducteur. Parmi les processus qui se déroulent au cours de cette période, l'involution utérine occupe une place centrale. Elle correspond au retour progressif de l'utérus à son état pré-gravide, condition essentielle pour la reprise de l'activité ovarienne et le retour à une fertilité optimale. Une involution complète et rapide est donc un indicateur majeur de la santé utérine des vaches laitières.

Le retard d'involution utérine, souvent associé aux infections utérines, entraîne d'importantes pertes économiques pour les éleveurs. Face à cette problématique, l'examen génital des vaches en post-partum se révèle essentiel pour assurer une récupération utérine complète et maintenir de bonnes performances de reproduction au sein du troupeau. Dans un contexte où la réduction de l'usage des antibiotiques constitue un enjeu majeur de santé publique, les stratégies non médicamenteuses, telles que la phytothérapie, suscitent un intérêt croissant. Ces approches complémentaires visent à soutenir la physiologie utérine et à renforcer les défenses naturelles de l'animal, tout en respectant le bien-être animal.

La présente thèse s'inscrit dans cette démarche, elle poursuit un double objectif. Le premier est de proposer un outil d'évaluation clinique standardisé de l'involution utérine, basé sur des critères facilement observables et mesurables en routine. Le second est d'étudier, à l'aide de cet outil, l'impact de l'administration d'un complément alimentaire associant calcium et extraits de plantes, le C for UtéroPhyt (laboratoire Savetis), sur l'état utérin et les équilibres métaboliques du post-partum. Ce produit, destiné à soutenir la récupération utérine et à prévenir les désordres métaboliques précoces, s'inscrit dans une approche de prévention et de soutien physiologique des vaches fraîchement vêlées.

Pour répondre à ces objectifs, ce travail est structuré en trois grandes parties. La première partie présente une synthèse bibliographique sur les mécanismes physiologiques de l'involution utérine, les principaux facteurs susceptibles de l'influencer, ainsi que ses interactions avec les maladies métaboliques et utérines du post-partum. Cette synthèse met en lumière la complexité du processus involutif et les liens étroits qui existent entre le statut énergétique, le métabolisme calcique et la santé utérine. La deuxième partie est consacrée à la mise au point d'un score simple et reproductible d'évaluation de l'involution utérine, élaboré à partir des différentes approches cliniques décrites dans la littérature. Enfin, la troisième partie présente une étude expérimentale menée dans plusieurs exploitations laitières, visant à évaluer les effets du bolus C for UtéroPhyt sur l'involution utérine et les désordres métaboliques précoces. Les analyses statistiques réalisées comparent les vaches traitées et non traitées sur la base du score d'involution, du grade d'infection utérine, de la calcémie et des concentrations en bêta-hydroxybutyrates.

PARTIE 1 : INVOLUTION DE L'UTERUS ET MALADIES UTERINES ET METABOLIQUES DU POST-PARTUM

I. Involution utérine

A. Définition et mécanismes physiologiques de l'involution utérine

L'involution utérine est un processus physiologique du post-partum permettant à l'utérus de retrouver son état pré-gravide. Une involution complète et rapide est un prérequis indispensable pour une reprise efficace de l'activité ovarienne, un retour en chaleur précoce et une amélioration des performances de reproduction. Elle est le reflet de la santé du système génital de la vache après la parturition (Dai et al., 2023).

Ce mécanisme, qui se poursuit pendant plusieurs semaines après le vêlage, inclut de nombreux événements complexes et liés les uns aux autres, comprenant des modifications anatomiques, histologiques, bactériologiques et immunologiques. L'ensemble de ces changements a pour objectif une restauration de la forme et de la taille de l'utérus, une nécrose et une desquamation des caroncules, une régénération de l'endomètre et un renouvellement du microbiote bactérien de l'appareil reproducteur (Dai et al., 2023)

1. Modifications anatomiques

a. Réduction du poids et du volume de l'utérus

L'involution utérine se manifeste, en premier lieu, par une décroissance exponentielle de la taille et du volume de l'utérus. Cette évolution implique différents processus comprenant les contractions utérines, la réduction de la taille des cellules myométriales, la vasoconstriction et l'élimination des tissus et des liquides. Le poids de l'utérus est estimé à environ 9 kg le jour du vêlage et réduit de moitié en une semaine pour aboutir à un poids d'1 kg, 30 jours post-partum. Par palpation transrectale, l'utérus est dit contournable à la main à 15 jours post-partum, puis « regroupable » à 30 jours post-partum, c'est-à-dire que les deux cornes peuvent être saisies simultanément d'une seule main dans la cavité pelvienne (Descôteaux et al., 2012).

De plus, la régression des caroncules, structures tapissant l'utérus et recevant les cotylédons fœtaux, participe nettement à la réduction du volume de l'utérus. En effet, leur taille se retrouve divisée par deux en 10 jours, passant de 5 cm de diamètre à 2,5 cm de diamètre pour être quasiment invisible macroscopiquement au bout de 30 jours post-partum (Descôteaux et al., 2012).

b. Réduction du diamètre et de la longueur des cornes utérines

A la suite du vêlage, les deux cornes utérines s'involuent très rapidement. Initialement, la corne précédemment grvide mesure 1m de long, 40cm de diamètre et pèse environ 8kg. La longueur est diminuée de moitié en 15 jours, son diamètre en 5 jours et son poids en 7 jours. Les contractions du myomètre, très nombreuses pendant les 72h post-partum, entraînent donc une réduction plus rapide du poids en comparaison aux dimensions. Concernant la corne utérine controlatérale, les modifications morphologiques sont moins notables et sa régression se déroule donc plus rapidement (Hanzen, 2015).

A partir de la 2^{ème} semaine post-partum, l'appareil génital est accessible à la palpation transrectale. A ce stade, la corne précédemment grvide demeure distinguable de la seconde corne en raison de sa longueur et de son diamètre, distinction qui peut persister jusqu'à la 4^{ème} semaine post-vêlage (Sheldon, 2004). De plus, l'étude, réalisée par Dai et al., en 2023, visant à examiner l'involution utérine chez les vaches laitières Prim'Holstein à l'aide d'un échographe, a permis d'observer que la durée de régression de la corne précédemment gestante est de 25 jours après la parturition chez les multipares et les primipares (Dai et al., 2023). Néanmoins, selon la plupart des sources bibliographiques, l'involution des cornes utérines est généralement estimée comme achevée au 30^{ème} jour post-partum, lorsque leur diamètre, déterminé par palpation transrectale, est inférieur à 5cm (Descôteaux et al., 2012).

c. Évolution du col de l'utérus

Le col de l'utérus subit, lui aussi, un processus d'involution important au cours du post-partum, bien que celui-ci soit généralement plus lent que celui observé pour les cornes utérines. Ainsi, ce phénomène semble suivre un gradient crânio-caudal : les premières modifications involutives débutent dans la partie crâniale de l'utérus avant d'atteindre la région cervicale (Balarezo U et al., 2018).

Dans les heures qui suivent la mise-bas, la fermeture du col, qui peut atteindre un diamètre d'environ 15 cm immédiatement après la délivrance, se met en place de façon rapide. Dans les 10 premières heures après le vêlage, des contractions marquées de la structure cervicale sont observées, empêchant généralement la possibilité d'insérer une main à travers le col au-delà de 24-36h post-partum (Descôteaux et al., 2012). De plus, 96h après le part, seulement deux doigts semblent pouvoir être introduits dans le col de l'utérus (Sheldon, 2004).

Après cette phase initiale de contractions rapides, la poursuite de la régression cervicale a lieu plus progressivement. Il est également rapporté que le col de l'utérus se rouvre partiellement 1 semaine après le part, correspondant à une phase transitoire de réorganisation tissulaire pour permettre l'élimination du contenu utérin (Sheldon et al., 2006).

La fermeture du col, au sens histologique et fonctionnel, s'achève généralement entre le 40^{ème} et le 50^{ème} jour post-partum. La prédominance de tissu fibreux au sein du col justifie ce délai, puisque la restauration intégrale de la barrière cervicale dépend d'une réparation lente et progressive des structures conjonctives et épithéliales (Hanzen, 2015).

2. Modifications histologiques et physiologiques

a. Régénération tissulaire

Lors de la mise-bas, l'épithélium de l'endomètre subit fréquemment des lésions, le tissu caronculaire se détache progressivement et un profond remaniement tissulaire est observé. Tous ces phénomènes font partie intégrante du processus physiologique normal de l'involution utérine, indispensable au retour à un état utérin compatible avec une future gestation (Sheldon & Owens, 2017).

La régénération de l'épithélium utérin débute très rapidement après la mise-bas. Une prolifération précoce des cellules épithéliales permet un recouvrement complet des zones inter-caroncules dès le 10^{ème} jour post-partum. En revanche, les caroncules, encore en phase de nécrose physiologique, restent provisoirement dépourvues de revêtement épithélial. En l'absence de complications infectieuses, ces structures seront progressivement colonisées d'un nouvel épithélium entre le 25^{ème} et le 30^{ème} jour après le part (Hanzen, 2015). Toutefois, la restauration complète des couches profondes de l'endomètre nécessite davantage de temps, généralement entre 6 à 8 semaines post-vêlage pour aboutir à une réorganisation tissulaire complète (Sheldon, 2004).

Sur le plan myométrial, les cellules musculaires, hypertrophiées pendant la gestation, régressent progressivement pour retrouver leur taille initiale 1 mois après la mise-bas, contribuant ainsi à la récupération complète de la fonction utérine (Hanzen, 2015).

b. Nécrose caronculaire

Au cours de la période post-partum, la régénération tissulaire s'accompagne d'une importante perte des cellules endométriales, un phénomène qui coïncide avec des modifications vasculaires majeures au niveau des caroncules utérines. Dans les premières heures qui suivent le vêlage, une vasoconstriction significative se manifeste dans les artérioles situées au sein des caroncules. Cette diminution de l'apport sanguin joue un rôle essentiel dans l'initiation d'un processus de nécrose cellulaire qui se termine autour du 5^{ème} jour post-partum. Ce phénomène vasculaire contribue à la dégradation progressive du tissu caronculaire, entraînant le détachement des caroncules (Descôteaux et al., 2012).

La desquamation des caroncules laisse en place un tissu nécrosé d'une épaisseur comprise entre 1 et 2 mm et situé sur le stroma endométrial sous-jacent (Hanzen, 2015). Ce processus est une étape cruciale dans la transformation de l'endomètre, préparant le terrain pour la régénération épithéliale et le retour à une architecture utérine fonctionnelle. Par ailleurs, autour du 15^{ème} jour après la parturition, une élimination progressive des artérioles localisées dans la couche superficielle de l'endomètre est observée. Toutefois, le réseau vasculaire situé plus profondément, à la base de chaque caroncule, persiste pendant plusieurs semaines, assurant un certain maintien de la vascularisation nécessaire aux phases ultérieures de réparation tissulaire (Descôteaux et al., 2012).

c. Contractions utérines

Les contractions utérines jouent un rôle fondamental dans le processus d'involution, en facilitant l'élimination du contenu utérin et en contribuant à la restauration de la morphologie et de la fonctionnalité utérine. Sur le plan moléculaire, plusieurs ajustements sont indispensables avec notamment la restauration des réserves intracellulaires de calcium et de glucose dans les cellules myométriales constituant ainsi un prérequis essentiel afin de garantir une contractilité utérine efficace (Carbonari et al., 2024).

Au cours des heures qui suivent le vêlage, l'utérus présente une activité contractile particulièrement marquée. Au cours des 48 à 72 premières heures post-vêlage, l'utérus est le siège de contractions puissantes survenant toutes les 3 à 4 minutes, lui conférant un aspect en tôle ondulée caractéristique, perceptible lors de la palpation transrectale. Au fil des jours, la fréquence et l'intensité des contractions évoluent. Entre le 2^{ème} et le 4^{ème} jour post-partum, les contractions utérines diminuent en intensité mais surviennent de manière plus rapprochée. Par la suite, entre le 4^{ème} et le 9^{ème} jour, leur rythme tend à devenir variable. A partir du 10^{ème} jusqu'au 15^{ème} jour, une augmentation progressive du tonus utérin est observée, en lien avec la reprise de l'activité ovarienne et la croissance folliculaire. Ce regain de tonicité contribue ainsi à l'élimination du contenu utérin résiduel (Hanzen, 2015).

d. Élimination des lochies

Les lochies désignent les sécrétions utérines évacuées naturellement au cours de la période post-partum. Elles constituent un mélange complexe comprenant des résidus de fluides fœtaux, des débris placentaires et tissulaires, des bactéries et du sang issu de la rupture du cordon ombilical ainsi que des hémorragies capillaires survenant au niveau des sites caroncules utérins en voie de nécrose. Ce mélange physiologique joue un rôle important dans la décontamination de l'utérus et l'élimination des débris cellulaires, contribuant ainsi à la restauration progressive de l'intégrité de la muqueuse utérine (Hanzen, 2015).

Plusieurs mécanismes interviennent de manière coordonnée pour assurer l'élimination des lochies. Parmi eux, l'infiltration progressive des leucocytes dans l'endomètre, en particulier au niveau des zones caroncules, joue un rôle central en déclenchant une réponse inflammatoire d'abord aiguë, puis chronique. Cette réponse favorise la dégradation et la phagocytose des tissus nécrosés. Parallèlement, une vasoconstriction marquée au niveau des artérioles utérines, notamment dans les zones caroncules, réduit l'apport sanguin, contribuant à la nécrose des tissus maternels, dont les caroncules, qui seront éliminés. Enfin, les contractions rythmiques du myomètre participent activement à l'expulsion mécanique des lochies. La synergie de ces processus est essentielle au bon déroulement de l'involution utérine (Hanzen, 2015).

La composition des lochies évolue au fil du temps, traduisant les différentes étapes du processus involutif. Au fil des jours, le volume des lochies diminue progressivement. La majorité du contenu utérin est résorbé par l'endomètre après le vêlage, le volume de lochies éliminées par voie vulvaire est donc variable. Toutefois, on estime qu'il passe de 1400 à 1600 mL 48h post-partum à environ 500 mL vers le 8^{ème} jour, pour ne représenter que quelques millilitres entre le 14^{ème} et le 18^{ème} jour après la mise bas. Le volume initial est également variable en fonction de la parité, il est d'environ 500mL chez les primipares et peut atteindre 2L chez les multipares (Descôteaux et al., 2012).

Conjointement au volume, l'aspect des lochies évolue également. Au cours de la première semaine après le vêlage, elles se présentent sous la forme d'écoulements inodores jaunes-bruns à rouges. Entre le 9^{ème} jour et le 12^{ème} jour post-partum, une augmentation transitoire de la teneur en sang est observée, conséquence des hémorragies capillaires et de la nécrose des caroncules. Par la suite, les lochies tendent à devenir plus visqueuses et de couleur jaune-blanche, jusqu'à disparaître presque totalement autour du 15^{ème} au 20^{ème} jour post-partum. Une persistance au-delà de 20 jours peut potentiellement être le signe d'une affection utérine sous-jacente (Descôteaux et al., 2012).

3. Modifications bactériologiques et immunologiques

a. Colonisation bactérienne

La lumière utérine est physiologiquement stérile au cours de la gestation. Toutefois, contrairement à d'autres espèces, l'involution utérine chez la vache se distingue par un processus d'involution septique, caractérisé par une colonisation bactérienne quasi-systématique de l'utérus après la parturition, couplée à une intense activité immunitaire locale. Lors de la mise-bas, la dilatation du col utérin et le relâchement de la vulve exposent directement la cavité utérine aux germes de l'environnement. Ces bactéries, issues du périnée, des fèces ou de l'environnement, colonisent très rapidement l'endomètre dès les premières heures qui suivent le vêlage (Sheldon, 2004).

Au cours des premières semaines post-partum, la flore bactérienne est fluctuante et hétérogène : aérobies et anaérobies, gram positifs et gram négatifs, saprophytes et pathogènes tels que *Fusobacterium necrophorum*, *Escherichia coli*, *Trueperella pyogenes*... La prévalence de cette colonisation diminue progressivement : 93% des utérus sont contaminés avant J15 post-partum, 78% entre J16-J30, 50% entre J31-J45 et seulement 9% après J45. Cette évolution témoigne d'un processus de clairance progressif. Ainsi, cette période post-partum engage de nombreux mécanismes de défense qui visent à restaurer l'intégrité de l'utérus et éliminer la charge bactérienne (Hanzen, 2015).

b. Défenses propres à l'utérus

Pour limiter la progression des agents pathogènes et assurer un retour à l'état physiologique, l'utérus mobilise un ensemble de mécanismes de défenses anatomiques, physiologiques et histologiques. Ainsi, l'élimination de la contamination bactérienne repose sur une coordination complexe entre les différentes lignes de défense de l'utérus.

- ❖ Défenses anatomiques : En dehors de la période de vêlage, l'appareil reproducteur des vaches dispose de plusieurs structures qui constituent des barrières efficaces contre les contaminations ascendantes. Ces barrières incluent la vulve, le vestibule vaginal et le col de l'utérus, dont les nombreux replis muqueux constituent une protection physique et fonctionnelle de la cavité utérine. Cependant, lors de la mise-bas, ces structures sont fortement dilatées pour permettre le passage du fœtus, exposant ainsi l'utérus aux divers agents pathogènes. Immédiatement après le vêlage, le col de l'utérus commence à se refermer rapidement grâce à la formation progressive des plis cervicaux, pour se rouvrir ensuite transitoirement autour du 7^{ème} jour post-partum, permettant l'évacuation des lochies (Chastant et al., 2008).

- ❖ Défenses physiologiques : Les contractions myométriales post-partum jouent un rôle fondamental dans le nettoyage mécanique de l'utérus. Ces contractions assurent l'expulsion des bactéries et des lochies qui sont un milieu favorable à la multiplication des agents pathogènes (Chastant et al., 2008).
- ❖ Défenses histologiques : L'endomètre utérin est tapissé d'un épithélium simple ou pseudostratifié, qui constitue une barrière histologique essentielle à la protection de l'utérus contre les infections. Toutefois, ce revêtement est profondément altéré lors de la parturition avec de nombreux phénomènes qui se déroulent parallèlement : nécrose caronculaire, ischémie locale, régénération tissulaire. Néanmoins, durant cette période de reconstruction, l'utérus reste vulnérable à l'invasion bactérienne, justifiant la mobilisation d'autres lignes de défense (Chastant et al., 2008).

c. Défenses immunitaires

La dernière ligne de défense repose sur l'immunité locale de l'utérus, qui mobilise aussi bien les cellules de l'immunité innée que certains médiateurs humoraux. Cette réponse implique principalement les leucocytes, recrutés rapidement à partir de la circulation sanguine, et jouant un rôle déterminant dans la restauration de l'intégrité de l'utérus. L'involution utérine post-partum peut ainsi être considérée, sur le plan histologique, comme une inflammation subaiguë organisée, caractérisée par l'activation de l'immunité innée et la coordination de processus phagocytaires et réparateurs (Chastant et al., 2008).

L'activité des leucocytes suit une cinétique précise, étroitement liée aux modifications tissulaires survenant après le vêlage. Dès la fin de la gestation, une augmentation du nombre de neutrophiles est observée au sein de l'endomètre. Leur capacité phagocytaire atteint un pic avant la parturition, chute temporairement au moment du vêlage, probablement en lien avec une immunodépression transitoire, puis remonte progressivement au cours des deux premières semaines post-partum (Hanzen, 2015)

Ainsi, dans les premières heures qui suivent la mise-bas, une invasion massive de neutrophiles s'observe dans l'endomètre et la lumière utérine. Ces cellules, issues du compartiment sanguin, représentent la première ligne de défense de l'utérus contre les agents infectieux. Leur migration est rapide et ciblée, ils pénètrent d'abord la couche superficielle de l'endomètre avant d'atteindre la cavité utérine, où leur activité phagocytaire permet l'élimination des bactéries, des débris cellulaires et des lochies (Chastant et al., 2008).

Ces neutrophiles ne se contentent pas de phagocyter, ils participent également à la formation du pus, en libérant leur contenu granulaire, contribuant donc à la destruction des micro-organismes et à la régulation de la réponse inflammatoire locale. Leur action est d'autant plus essentielle que l'environnement utérin post-partum, riche en fluides organiques, constitue un terrain propice à la prolifération bactérienne (Chastant et al., 2008).

Bien que les neutrophiles soient les principaux effecteurs de la défense utérine, ils ne sont pas les seuls à intervenir. L'utérus mobilise également d'autres cellules immunitaires telles que les macrophages, les lymphocytes, les plasmocytes, les éosinophiles et les mastocytes, chacun jouant un rôle complémentaire dans la lutte contre les agents pathogènes et dans le processus de réparation tissulaire (Chastant et al., 2008).

Les macrophages prennent le relais des neutrophiles à partir du 10^{ème} jour post-partum. Ils interviennent dans le nettoyage des tissus nécrosés, mais également dans la reconstruction de l'endomètre, en produisant des cytokines et en activant les fibroblastes. Les lymphocytes, bien que minoritaires dans un premier temps, participent à la régulation de la réponse immunitaire et à la reconnaissance antigénique (Hanzen, 2015). On estime que près de 80% de l'activité phagocytaire dans l'utérus est assurée par les neutrophiles, tandis que les macrophages assurent les 20% restants, jouant un rôle plus tardif mais plus durable dans la résolution de l'inflammation (Chastant et al., 2008).

4. Limites des défenses utérines et immunitaires

Les mécanismes de défense de l'utérus, décrits précédemment, jouent un rôle fondamental dans la maîtrise de la colonisation bactérienne naturelle survenant après le vêlage. Toutefois, ce processus de nettoyage et de régénération tissulaire repose sur un équilibre fragile. En effet, la simple présence de bactéries ne suffit pas à déclencher une maladie. C'est la combinaison de plusieurs facteurs, notamment la virulence des micro-organismes, leur charge infectieuse et la capacité de réponse immunitaire de la vache, qui va déterminer l'issue de cette contamination. Si cet équilibre est rompu, cette flore physiologique et transitoire peut se transformer en une infection pathologique, compromettant alors la santé utérine, la fertilité de l'animal et parfois son état général (Chastant et al., 2008).

A la suite du vêlage, l'endomètre présente des zones nécrotiques et une vascularisation réduite, ce qui entraîne une baisse du potentiel d'oxydo-réduction dans la cavité utérine. Ce milieu pauvre en oxygène, associé à la présence de lochies et de débris cellulaires, constitue un terrain particulièrement favorable au développement de bactéries anaérobies telles que *Fusobacterium necrophorum*. Leur développement favorise ensuite la croissance de *Trueperella pyogenes*, dont la concentration est directement corrélée à la gravité de l'endométrite. Ce déséquilibre microbien constitue un facteur clé dans l'évolution vers une endométrite, en prolongeant l'inflammation et en compromettant la régénération de la muqueuse utérine (Chastant et al., 2008).

De plus, l'immunité utérine de la vache est physiologiquement affaiblie autour du vêlage, ce qui rend l'organe plus vulnérable aux infections. Cette immunodépression peut être exacerbée par certains troubles métaboliques du post-partum. Ces déséquilibres altèrent le fonctionnement des cellules immunitaires, en particulier des neutrophiles, et réduisent l'efficacité des mécanismes de défense utérine. En conséquence, une contamination bactérienne, normalement contrôlée et temporaire, peut évoluer vers une infection persistante. Sur le plan clinique, il devient alors essentiel de différencier une réponse inflammatoire physiologique, intrinsèque au processus d'involution utérine post-partum, d'une inflammation pathologique, qui dépasse les mécanismes de défenses habituels et nécessite une prise en charge thérapeutique ciblée (Chastant et al., 2008).

B. Facteurs influençant l'involution utérine

De nombreux facteurs (Figure 1), à la fois physiologiques, pathologiques, environnementaux et de gestion, peuvent influencer la durée et la qualité de l'involution utérine. Les facteurs influençant l'involution utérine sont en grande partie similaires à ceux prédisposant aux infections utérines, car tout élément perturbant la contraction utérine, le drainage des lochies ou l'immunité locale engendre à la fois le ralentissement de l'involution et la colonisation bactérienne pathologique. Certains de ces facteurs, notamment la métrite, l'hypocalcémie et la cétose seront vus plus en détails ultérieurement afin d'apporter plus d'explications concernant leur impact sur le processus d'involution utérine.

1. Facteurs liés à la vache

a. Race

La race de la vache constitue un déterminant majeur du déroulement et de la rapidité de l'involution utérine. Les races laitières, comme la Prim'Holstein, sont connues pour leur fort potentiel de production laitière, ce qui les expose à un stress métabolique important en post-partum. Ce stress est associé à un bilan énergétique négatif, à des troubles métaboliques comme l'hypocalcémie et la cétose, et à une altération de la fonction immunitaire. L'ensemble de ces éléments ralentit l'involution utérine et compromet parfois la reprise de l'activité ovarienne. A l'inverse, les races allaitantes, dont la production laitière est plus modérée, sont généralement moins exposées à ces déséquilibres métaboliques, ce qui favorise une récupération utérine plus stable (LeBlanc, 2008).

b. Parité

L'influence de la parité sur l'involution utérine reste un sujet débattu. Certaines publications indiquent que les vaches multipares présentent une involution utérine légèrement plus rapide que les primipares, en particulier au niveau du col de l'utérus, probablement en raison d'une meilleure adaptation physiologique acquise au fil des vêlages successifs. Cependant, d'autres études ne montrent pas de différence significative entre les groupes de parité, notamment en ce qui concerne la régression du diamètre de la corne utérine précédemment gravide. Par ailleurs, bien que les vaches primipares puissent rencontrer plus de difficultés au moment du premier vêlage en raison d'une croissance le plus souvent inachevée, les vaches les plus âgées sont quant à elles davantage exposées aux troubles métaboliques post-partum susceptibles de retarder l'involution. Ainsi, malgré certaines tendances observées, aucune conclusion définitive ne peut être tirée concernant l'impact de la parité sur la durée de l'involution utérine, les résultats restant variables selon les études et les populations de vaches étudiées (Lefebvre et al., 2012).

Dans une étude menée par Dai et al., en 2023, qui s'intéresse à l'involution utérine chez les vaches laitières Prim'Holstein, les auteurs ont observé que l'achèvement de la régression du col de l'utérus survenait en moyenne à 20 jours post-partum pour les multipares, contre 25 jours chez les primipares. En revanche, le délai d'involution de la corne utérine précédemment gravide était similaire dans les deux groupes, estimé à 25 jours post-vêlage. Ils concluent ainsi que la durée de l'involution utérine est comparable entre vaches primipares et multipares, soit 25 jours après la parturition (Dai et al., 2023).

c. Note d'état corporel (NEC)

La note d'état corporel (NEC) est un indicateur clé de l'état nutritionnel de la vache laitière. Elle reflète les réserves énergétiques de l'animal et influence significativement les processus physiologiques autour du vêlage, notamment la reprise de la cyclicité ovarienne, la fonction immunitaire et l'involution utérine.

Dans l'étude menée par Balarezo et al. en 2018 portant sur l'involution utérine des vaches Prim'Holstein dans la province de Carchi (Équateur), les auteurs ont montré que les vaches présentant une note d'état corporel supérieure à 3,5 au moment du vêlage avaient une involution utérine plus précoce que celles dont la NEC était inférieure à ce seuil ($p < 0,05$). En effet, une NEC trop faible est souvent associée à un état de balance énergétique négative, prédisposant la vache à des troubles métaboliques comme la cétose de type 1. Ces déséquilibres peuvent accroître le risque d'infections utérines, ralentir le processus d'involution et retarder le redémarrage de l'activité ovarienne après le vêlage (Balarezo U et al., 2018). Au contraire, les vaches avec une NEC supérieure à 3,5 disposent de réserves énergétiques plus élevées, favorisant une meilleure reprise des fonctions utérines post-partum. Toutefois, une note d'état corporel trop élevée est également délétère puisqu'elle augmente le risque de lipomobilisation excessive et donc de cétose de type 2, ralentissant ainsi le processus d'involution utérine (Balarezo U et al., 2018).

d. Statut immunitaire

Un statut immunitaire efficace est fondamental pour éliminer les bactéries, les débris cellulaires et les tissus nécrotiques présents dans l'utérus après le vêlage. Toute immunodépression, qu'elle soit transitoire ou prolongée, peut altérer la réponse inflammatoire et compromettre l'involution. Ce déficit immunitaire est fréquent au cours du péripartum et peut être multifactoriel comme le stress au vêlage, le déficit énergétique, les carences en minéraux (vitamine E, sélénium, calcium) et les pathologies concomitantes (mammites, boiteries...). Ces facteurs diminuent la capacité phagocytaire et la mobilité des neutrophiles, rendant l'utérus plus vulnérable aux infections utérines comme les métrites et les endométrites (Lefebvre et al., 2012).

De plus, le stress oxydatif représente également un facteur de risque important pour la santé utérine. Il résulte d'un déséquilibre délétère entre la production de radicaux libres, générés lors du métabolisme intense du post-partum et du bilan énergétique négatif, et les capacités de défense des systèmes antioxydants. Cet excès de radicaux libres altère la signalisation immunitaire ainsi que la barrière des cellules épithéliales provoquant des lésions utérines et permettant l'invasion d'agents pathogènes. Ainsi, le stress oxydatif est un cofacteur pathologique qui perturbe activement les défenses immunitaires utérines et compromet l'involution utérine (Katiyar et al., 2021).

A contrario, une réponse immunitaire rapide et bien régulée favorise l'élimination des agents pathogènes et des lochies, limite l'inflammation et accélère la régénération tissulaire, contribuant ainsi à une involution utérine optimale. Le soutien de l'immunité par l'alimentation (antioxydants, oligo-éléments), la gestion du stress et la prévention des désordres métaboliques constituent donc un levier majeur pour favoriser une bonne santé utérine post-partum (Lefebvre et al., 2012).

e. Infections utérines

L'involution utérine peut être considérablement altérée en présence d'une infection utérine post-partum, qu'elle soit clinique ou subclinique. Ces infections sont l'un des principaux facteurs pathologiques responsables du retard de ce processus physiologique. Initialement, l'utérus subit une inflammation nécessaire pour éliminer les débris de la parturition. Cependant, une infection peut survenir lorsque la balance entre la charge microbienne et les défenses de l'organisme est rompue. Les bactéries présentes dans l'utérus libèrent des lipopolysaccharides et d'autres toxines qui stimulent une réponse inflammatoire excessive et prolongée. Cette inflammation persistante conduit à la libération continue de médiateurs pro-inflammatoires qui interfèrent avec les mécanismes de l'involution utérine. La contractilité myométriale est directement affectée, l'utérus ne parvient pas à se contracter efficacement pour expulser les lochies et réduire sa taille, prolongeant ainsi sa distension et son volume (Singh et al., 2008).

Le processus d'involution implique également une régénération et une réorganisation rapide de l'endomètre. Or, les infections utérines, par l'inflammation chronique et la présence continue d'agents pathogènes, endommagent l'épithélium utérin et le stroma sous-jacent. Au lieu d'une cicatrisation efficace, les infections utérines entraînent fréquemment des lésions tissulaires, la formation d'adhérences et un remodelage anormal de l'endomètre. Par ailleurs, la présence de cytokines inflammatoires et d'un environnement bactérien défavorable freine la prolifération des cellules épithéliales, ce qui ralentit le processus de renouvellement tissulaire. De plus, la présence de pus et de biofilms bactériens agit comme une barrière empêchant la muqueuse utérine de retrouver son intégrité structurelle et fonctionnelle (Sheldon et al., 2006).

D'autre part, les infections utérines ont un impact direct sur l'équilibre des prostaglandines, ce qui perturbe le processus d'involution utérine. En l'absence d'infection, les cellules épithéliales de l'endomètre produisent principalement des prostaglandines de type F2 α (PGF2 α), responsables de la lyse du corps jaune et de la stimulation des contractions utérines, contribuant ainsi à l'élimination des lochies et à la reprise du cycle ovarien. Cependant, lors d'une importante charge bactérienne, les endotoxines provoquent un dérèglement de la synthèse de prostaglandines au niveau de l'endomètre, favorisant une production accrue de prostaglandines E2 (PGE2). Or, ces dernières ont un effet beaucoup plus modéré, voire inhibiteur, sur les contractions du myomètre, réduisant donc l'efficacité de la vidange utérine et ralentissant son retour à un état non gravide. Cette perturbation hormonale est également associée à une prolongation de la phase lutéale, par absence de lutéolyse, retardant ainsi le retour à la cyclicité (Sheldon et al., 2009).

Enfin, la lutte contre une infection utérine représente un coût énergétique considérable pour l'organisme, d'autant plus que la majorité des vaches se retrouve déjà en bilan énergétique négatif en début de lactation. Le système immunitaire mobilise d'importantes réserves pour soutenir la réponse inflammatoire et la production de cellules immunitaires. Cette mobilisation détourne des ressources normalement destinées à la production laitière et aux processus physiologiques de récupération, tels que l'involution utérine. De plus, la diminution de l'appétit, fréquemment observée lors d'infections systémiques, accentue le déficit énergétique, entraînant un cercle vicieux où l'animal est de moins en moins capable de maintenir une réponse immunitaire efficace, prolongeant ainsi l'infection et le retard d'involution (Esposito et al., 2014).

f. Troubles métaboliques et nutritionnels

La période de transition, s'étendant de trois semaines avant à trois semaines après le vêlage, représente une phase de bouleversements intenses pour la vache laitière. C'est une étape au cours de laquelle les déséquilibres métaboliques et nutritionnels influencent directement le déroulement du post-partum et la qualité de l'involution utérine. Les modifications physiologiques liées à la mise en place de la lactation, combinées à la baisse d'ingestion et aux besoins accrus en nutriments, exposent la vache à divers troubles tels que le bilan énergétique négatif, les carences en vitamines et oligo-éléments, ou encore l'hypocalcémie. Le rôle essentiel de ces troubles dans le développement des complications post-partum en fait des facteurs déterminants à considérer dans l'évaluation et la prévention du retard de l'involution utérine. Le bilan énergétique négatif et l'hypocalcémie, qui font l'objet d'analyses spécifiques dans l'étude terrain (partie 3), sont donc présentés plus en détail à la fin de cette première partie.

Les carences en vitamines et oligo-éléments, fréquemment observées en période péri-partum, contribuent également au retard de l'involution utérine. La vitamine E et le sélénium, par leurs propriétés antioxydantes et leur rôle fondamental dans la stimulation de l'immunité, sont essentiels pour un bon déroulement du post-partum. Leurs déficiences sont associées à une augmentation de la rétention placentaire, première étape du cercle vicieux menant aux infections utérines et à un retard de l'involution. La vitamine E favorise la migration et la chimiotaxie des neutrophiles, facilitant ainsi l'élimination des débris et des agents pathogènes. Le sélénium, quant à lui, contribue à réduire l'incidence des métrites en renforçant les défenses antioxydantes de l'organisme. D'autres micronutriments, comme le bêta-carotène, précurseur de la vitamine A, participent aussi à la santé utérine via la régulation de la réponse immunitaire et son rôle d'antioxydant. Leur déficit peut contribuer à un ralentissement de la régénération endométriale, notamment en prolongeant l'inflammation (Lefebvre et al., 2012).

2. Facteurs liés au vêlage

a. Gestation gémellaire

Les gestations gémellaires sont de plus en plus fréquentes, en particulier chez les vaches laitières à haut potentiel génétique, comme les Prim'Holstein. Elles constituent un facteur de risque reconnu de perturbation de l'involution utérine principalement en augmentant le risque de rétention placentaire. Cette rétention est en partie expliquée par une durée de gestation plus courte lors de jumeaux, ce qui pourrait entraîner une immaturité physiologique du placenta au moment de la parturition, perturbant ainsi son expulsion physiologique. De plus, les complications comme la dystocie, également plus fréquentes lors de gestations gémellaires, peuvent causer des traumatismes utérins et altérer la libération hormonale nécessaire à l'élimination des lochies, retardant ainsi le retour à un volume utérin pré-gravidique (Echternkamp & Gregory, 1999).

La présence de jumeaux impose des contraintes métaboliques considérables pour les vaches. Le volume utérin plus important, dû à la présence de deux fœtus, réduit la capacité de remplissage du rumen et entraîne donc une chute de la consommation alimentaire. Cette diminution de l'apport énergétique, combinée aux besoins accrus de la gestation gémellaire, aboutit à un bilan énergétique négatif important. Cette situation affaiblit les défenses immunitaires de l'animal, le rendant plus vulnérable aux infections utérines post-partum (Lefebvre et al., 2012). Ainsi, la gestation gémellaire peut altérer profondément le déroulement physiologique de l'involution utérine par l'intermédiaire de facteurs mécaniques, métaboliques et immunitaires.

b. Dystocie et interventions obstétricales

La dystocie, définie comme un vêlage difficile dû à une parturition prolongée ou à une parturition assistée difficile, nécessitant, dans la majorité des cas, une intervention humaine ou vétérinaire, représente un facteur de risque majeur de perturbation de l'involution utérine. Un vêlage prolongé ou compliqué soumet l'utérus à un stress mécanique excessif et à des traumatismes importants. Les efforts de poussée intenses et répétés peuvent entraîner des lésions de la paroi utérine, du col et du tractus vaginal. Ces lésions tissulaires, souvent aggravées par les interventions obstétricales (tractions forcées, césariennes), sont le siège d'un processus inflammatoire marqué et prolongé, qui retarde la réparation endométriale et entrave la réduction normale du volume utérin (Smail et al., 2025).

Lors de dystocie, les traumatismes causés au tractus reproducteur altèrent l'intégrité des tissus, augmentant donc la probabilité de développer une infection utérine et entravant significativement l'involution. Ainsi, la dystocie multiplie par deux l'incidence des infections utérines post-partum telles que les métrites puerpérales et les endométrites (Lefebvre et al., 2012). Par ailleurs, la dystocie est souvent corrélée à des déséquilibres métaboliques, notamment l'hypocalcémie et le stress oxydatif, qui affaiblissent la réponse immunitaire et la contractilité myométriale, impactant directement la vitesse de l'involution utérine.

c. Rétention placentaire

La rétention placentaire, définie comme l'absence d'expulsion complète des membranes fœtales dans les 24h suivant la mise-bas, constitue un événement fréquent en post-partum chez la vache laitière. Bien que certaines rétentions puissent rester sans conséquence clinique majeure lorsque l'expulsion est rapide et sans complication, elles représentent néanmoins un facteur de risque majeur de retard d'involution utérine. En effet, la présence prolongée de tissus placentaires dans l'utérus empêche l'expulsion complète des lochies et la fermeture physiologique du col utérin. Cette ouverture persistante permet une contamination ascendante de l'utérus, augmentant considérablement la charge bactérienne intra-utérine (Lefebvre et al., 2012).

L'environnement créé par les membranes fœtales rémanentes est particulièrement propice au développement bactérien. Ces tissus nécrotiques agissent comme un véritable substrat nutritif pour les germes pathogènes, facilitant l'installation d'une infection utérine, principalement sous forme de métrite puerpérale. La rétention placentaire augmente ainsi de 4 à 6 fois le risque de développer une métrite puerpérale ou une endométrite clinique (Lefebvre et al., 2012). L'inflammation qui en découle entraîne une perturbation du processus d'involution, en prolongeant la dilatation de l'utérus, en retardant la régénération de l'endomètre et en empêchant le remodelage physiologique des tissus utérins.

Bilan

L'involution utérine constitue un processus physiologique complexe et fondamental du post-partum de la vache laitière. Elle repose sur une série d'évènements comprenant la régression anatomique de l'utérus, la réparation histologique, l'élimination des lochies et le contrôle de la charge bactérienne, permettant à l'appareil génital de retrouver un état compatible avec une nouvelle gestation. Ce processus, bien que physiologique, est extrêmement sensible à de nombreux facteurs. Ces derniers n'agissent pas de façon isolée mais interagissent entre eux. En effet, ils sont interdépendants, de sorte qu'un déséquilibre initial (métabolique, infectieux ou environnemental) peut provoquer une cascade de perturbations successives, amplifiant le retard d'involution.

Une liste non exhaustive de facteurs, propres à l'animal mais aussi aux conditions du vêlage, a été abordée précédemment. Certains d'entre eux, sur lesquels le vétérinaire peut agir directement, sont développés plus en détail ci-dessous. Toutefois, il est important de souligner que d'autres éléments, encore peu explorés dans la littérature mais susceptibles d'interférer avec l'involution utérine, n'ont pas été approfondis. En effet, les facteurs environnementaux (conditions de logement, saison de vêlage, confort des animaux...) et les pratiques de gestion d'élevage (alimentation du troupeau, gestion du stress thermique et social, protocole de surveillance post-partum...) peuvent exercer une influence directe ou indirecte sur le processus d'involution utérine. La prise en compte globale de ces paramètres est indispensable pour comprendre les défaillances potentielles de l'involution utérine et mettre en place des stratégies préventives efficaces en élevage laitier.

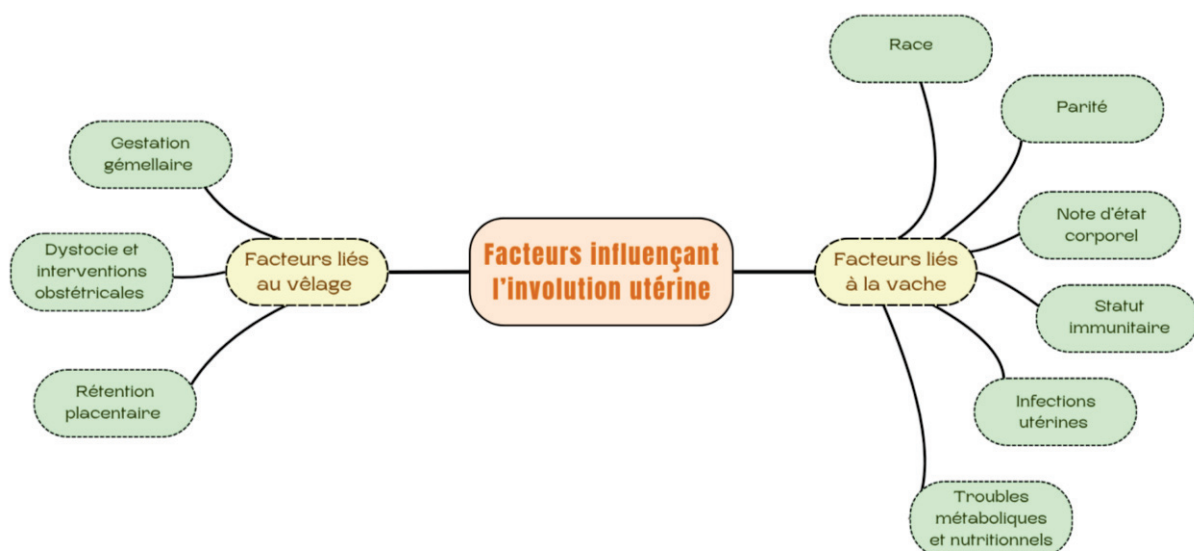


Figure 1 : Facteurs influençant l'involution utérine

II. Bilan énergétique négatif

A. Contexte physiologique et métabolique du bilan énergétique négatif

La période de transition, qui s'étend approximativement des trois semaines précédant le vêlage aux trois semaines qui le suivent, représente une phase critique de la vie de la vache laitière. Durant ce court laps de temps, l'animal subit de profonds bouleversements hormonaux, métaboliques et physiologiques pour passer de la gestation à la lactation. Or, le début de la production laitière engendre une augmentation brutale des besoins énergétiques, pouvant atteindre jusqu'à trois fois ceux observés avant vêlage. Cependant, cette forte demande survient à un moment où la capacité d'ingestion est encore réduite. De plus, l'énergie disponible est prioritairement orientée vers la production laitière, au détriment d'autres fonctions vitales comme l'immunité ou la reproduction. Ainsi, il en résulte un déséquilibre entre les apports et les besoins, appelé bilan énergétique négatif (BEN), particulièrement marqué chez les vaches à haut potentiel laitier (Fournier et al., 2013).

Face à cette insuffisance d'apport énergétique, l'organisme mobilise rapidement les réserves adipeuses, libérant dans la circulation sanguine une grande quantité d'acides gras non estérifiés (AGNE). Ces AGNE sont métabolisés par le foie et, lorsque la disponibilité en précurseurs du glucose est insuffisante, sont oxydés partiellement en corps cétoniques tels que le béta-hydroxybutyrate (BHB), l'acétoacétate ou l'acétone. Si une élévation modérée de ces composés est considérée comme une réponse adaptative transitoire, une production accrue caractérise un état pathologique : la cétose clinique ou subclinique. La cétose subclinique, définie par une augmentation des corps cétoniques mais une absence de signes cliniques, peut toutefois entraîner une cascade de conséquences défavorables notamment sur la reproduction (Fournier et al., 2013).

B. Impact du BEN sur l'involution utérine

1. *Influence du BEN sur les mécanismes de mort cellulaire*

La mort cellulaire programmée, ou apoptose, joue un rôle essentiel dans la dégradation et la reconstruction des structures tissulaires au cours de l'involution utérine. Physiologiquement, la régression des tissus de l'utérus précédemment gravide s'effectue majoritairement par apoptose. Ce processus ordonné préserve l'intégrité de la membrane cellulaire et empêche la libération de composants cytoplasmiques susceptibles d'induire une réaction inflammatoire dans les tissus environnants. À l'inverse, la nécrose se caractérise par une perte précoce de l'intégrité membranaire entraînant la libération du contenu cellulaire dans l'espace extracellulaire. Cette libération stimule une réponse inflammatoire locale, qui peut perturber la cicatrisation et retarder l'involution (Domokos et al., 2010).

Dans des conditions énergétiques optimales, environ la moitié des cellules de l'endomètre meurent par apoptose, puis sont phagocytées. L'apoptose est un processus énergivore, qui nécessite une concentration suffisante en adénosine triphosphate (ATP) pour activer la cascade des caspases, enzymes responsables de l'exécution du programme apoptotique. Cependant, en situation de bilan énergétique négatif marqué, comme c'est fréquemment le cas après le vêlage, la disponibilité

énergétique est réduite, en partie parce que l'énergie mobilisable est prioritairement dirigée vers la production laitière. Si les réserves énergétiques chutent en dessous d'un certain seuil, l'apoptose ne peut s'achever normalement et laisse place à un processus nécrotique, favorisant la survenue d'une réaction inflammatoire intra-utérine (Domokos et al., 2010).

L'étude, portant sur le degré d'apoptose dans des échantillons d'endomètre en fonction de la concentration de BHB dans le plasma sanguin, a montré que chez les vaches laitières présentant une acétonémie post-partum, la proportion de cellules endométriales apoptotiques était significativement réduite par rapport aux animaux témoins. Dans les biopsies utérines de vaches acétonémiques, ce pourcentage n'atteignait que 23,83% du total cellulaire, contre 50,82% chez les animaux normocétonémiques. Ces résultats suggèrent qu'un BEN perturbe le processus apoptotique et favorise l'apparition de phénomènes nécrotiques accompagnés d'une inflammation. Cette dernière peut retarder l'involution et accroître le risque de maladies utérines post-partum (Domokos et al., 2010).

2. Influence du BEN sur la réponse immunitaire et la réparation tissulaire

En période post-partum, le bilan énergétique négatif exerce un effet délétère sur le système immunitaire de la vache laitière, la rendant plus vulnérable aux infections utérines. Les animaux acétonémiques sont immunodéprimés, ce qui se traduit par une altération des fonctions des cellules immunitaires. Ainsi, la capacité chimiotactique des leucocytes est altérée lors de leur migration dans un environnement présentant un excès de corps cétoniques. De plus, un BEN sévère modifie le profil d'expression des gènes de l'immunité : les gènes pro-inflammatoires sont surexprimés, tandis que ceux impliqués dans la réponse immunitaire adaptative sont réprimés. Cette perturbation affaiblit la muqueuse endométriale, favorisant la pénétration de micro-organismes pathogènes et l'installation d'une inflammation locale (Esposito et al., 2014).

Des concentrations élevées d'AGNE et de BHB affectent directement la fonction des neutrophiles. L'excès d'AGNE est associé à une baisse de l'activité de la myéloperoxydase, enzyme essentielle à la destruction des agents pathogènes après phagocytose, ainsi qu'à un déficit en glycogène des neutrophiles, réduisant leur efficacité à éliminer les bactéries. De plus, plusieurs études ont mis en évidence une corrélation entre des niveaux élevés d'AGNE en période pré-partum et un risque accru de rétention placentaire, de métrite et d'endométrite (Fournier et al., 2013).

En outre, ces perturbations métaboliques se traduisent par une inflammation utérine persistante et un retard des processus de réparation tissulaire. En effet, deux semaines après le vêlage, les vaches en BEN sévère présentent encore une réponse inflammatoire intra-utérine active et une surexpression de gènes antimicrobiens tels que S100A8 et S100A9, alors que les vaches en BEN modéré ont généralement atteint un stade de réparation endométriale plus avancé. Ainsi, en favorisant un état d'inflammation chronique, le BEN ralentit l'involution utérine (Wathes et al., 2009).

C. Évaluation du BEN en pratique

L'évaluation du BEN constitue un élément central de la gestion des troupeaux laitiers. Elle permet d'identifier précocement les vaches à risque, de prévenir les désordres métaboliques et d'optimiser les performances de reproduction. Cette évaluation repose sur l'observation morphologique de l'état corporel et la mesure objective d'indicateurs biochimiques, toutes deux complémentaires.

1. Appréciation morphologique : la note d'état corporel (NEC)

La note d'état corporel est l'outil de référence pour estimer les réserves adipeuses des vaches. Elle repose sur l'évaluation visuelle et tactile de repères anatomiques du corps de l'animal, et constitue un indicateur direct de l'amaigrissement ou de la prise d'état. Cette notation s'appuie sur des grilles de référence permettant d'uniformiser l'évaluation. Les objectifs généralement admis sont une note au vêlage comprise entre 3,25 et 3,75 et une perte maximale d'1 point après le vêlage (Julien, 2017).

2. Appréciation biochimique : dosages métaboliques

La NEC, bien qu'utile, ne permet pas toujours de détecter précocement les déséquilibres énergétiques. Les dosages biochimiques apportent une mesure objective et sensible de l'état métabolique des vaches. Deux paramètres sanguins sont principalement utilisés : les acides gras non estérifiés qui renseignent sur la lipomobilisation, et le beta-hydroxybutyrate, principal corps cétonique circulant.

- ❖ AGNE : Ils constituent un indicateur particulièrement pertinent en période pré-partum, dans les 15 à 20 jours précédant le vêlage, moment où la lipomobilisation peut avoir lieu sans être visible sur la NEC. La mesure se fait en laboratoire et son coût reste relativement modéré. Les valeurs supérieures au seuil de 0,4 mmol/L en période de tarissement sont considérées comme élevées et associées à une augmentation du risque de cétose post-partum. Les AGNE constituent un marqueur plus précoce du BEN que le BHB. Leur dosage permet d'identifier les vaches à risque avant même le vêlage, et donc de mettre en place plus rapidement des mesures correctives, mais leur mesure reste plus contraignante car elle nécessite l'utilisation d'un matériel de laboratoire spécifique (Fournier et al., 2013; Julien, 2017).
- ❖ BHB : Il est surtout dosé en début de lactation, durant la première ou la deuxième semaine post-partum, période pendant laquelle il traduit le mieux l'importance du déficit énergétique. Les concentrations sanguines en BHB ne devraient pas dépasser 1,1 à 1,2 mmol/L. Un taux inférieur à 0,9 mmol/L reflète une bonne adaptation au départ en lactation, alors qu'un taux supérieur à 1,2 mmol/L traduit une situation de cétose subclinique ou clinique. Le BHB, bien que moins précoce, est plus facile à mesurer sur le terrain et moins coûteux, ce qui explique sa large utilisation en élevage pour le dépistage en post-partum. En effet, via l'utilisation d'un analyseur portable, sa mesure peut être réalisée au chevet du patient. Son évaluation est particulièrement pertinente pour identifier les vaches présentant un BEN significatif et prévenir les complications métaboliques et reproductives associées (Fournier et al., 2013; Julien, 2017).

III. Hypocalcémie post-partum

A. Physiopathologie de l'hypocalcémie post-partum

Le vêlage et l'entrée en lactation constituent une phase critique pour la vache laitière, marquée par une augmentation brutale des besoins en calcium. Ce minéral est notamment requis pour la production du colostrum et du lait. La quantité de calcium mobilisée est considérable, dès les premières heures suivant la parturition. La sécrétion de colostrum, particulièrement riche en calcium, entraîne des pertes estimées entre 15 et 20 g, alors que les réserves circulantes d'une vache adulte n'excèdent généralement pas 2 à 4 g. Cette disproportion explique la chute fréquente de la calcémie dans les premiers jours post-partum (Tobolski et al., 2025).

Lorsque l'absorption digestive et la mobilisation osseuse ne suffisent pas à compenser cette perte, une hypocalcémie s'installe. On distingue la forme clinique, qui ne touche qu'une faible proportion des vaches, et la forme subclinique, beaucoup plus répandue, qui affecte environ 50% des animaux après vêlage. Face à cette chute de la calcémie, l'organisme met en place plusieurs mécanismes de compensation qui permettent, dans la majorité des cas, un retour progressif à des valeurs normales dans les 2 à 3 jours suivant la mise-bas. Toutefois, si ces mécanismes échouent, la calcémie demeure basse et l'animal reste en hypocalcémie, avec un risque accru de complications (Ruiz-García et al., 2022).

B. Impact de l'hypocalcémie sur l'involution utérine

1. Influence de l'hypocalcémie sur la régression anatomique de l'utérus

Plusieurs études ont mis en évidence un lien entre hypocalcémie et altération de l'involution utérine. Les animaux présentant une baisse de calcémie révèlent, de manière récurrente, des valeurs plus élevées de diamètre utérin et d'épaisseur endométriale par rapport aux vaches normocalcémiques. L'échographie met en évidence que la corne utérine précédemment gravide conserve un diamètre significativement plus large chez les vaches hypocalcémiques, et ce jusqu'à 60 jours post-partum. De même, la corne controlatérale présente, entre 14 et 30 jours après le vêlage, des dimensions supérieures à celles des animaux sains. De plus, l'involution cervicale suit la même tendance : chez les vaches hypocalcémiques, la réduction du diamètre du col est retardée d'environ 6 jours par rapport aux normocalcémiques. Ces observations suggèrent un ralentissement de la régression tissulaire, confirmant l'effet défavorable d'un déficit en calcium sur la vitesse d'involution (Braga Paiano et al., 2019; Kamgarpour et al., 1999; Tobolski et al., 2025).

Chez les vaches présentant une inflammation utérine exacerbée, des concentrations plus élevées de calcium ont été mises en évidence dans les lavages utérins par rapport aux animaux sains. Bien que ce minéral soit indispensable à la contraction des fibres musculaires et au bon déroulement de l'involution, sa présence dans la lumière utérine traduit une utilisation inefficace par le myomètre. Lors d'une inflammation persistante, le calcium est moins capté par les cellules musculaires et s'accumule dans l'utérus, ce qui compromet les contractions nécessaires à sa régression (Brodzki et al., 2016).

2. Influence de l'hypocalcémie sur la contractilité myométriale

Le calcium joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des muscles lisses, dont le myomètre. En cas d'hypocalcémie, le tonus musculaire diminue, ce qui accroît le risque de complications péripartum. Le mécanisme sous-jacent repose sur la dépendance des contractions musculaires aux concentrations de calcium intracellulaire. Lorsque la calcémie chute, la contraction des muscles lisses est réduite, compromettant l'activité mécanique des organes creux et retardant ainsi l'involution utérine. Une calcémie adéquate est indispensable pour assurer une contractilité myométriale efficace, favorisant l'élimination des lochies et contribuant ainsi à une clairance utérine rapide. A l'inverse, une hypocalcémie persistante retarde ce processus, favorisant la contamination bactérienne (Ruiz-García et al., 2022).

Chez les vaches hypocalcémiques subcliniques, la réduction de la longueur utérine est significativement retardée du jour 1 au jour 21 post-partum, suggérant un impact direct sur la musculature longitudinale du myomètre, responsable de la diminution de la longueur utérine. En revanche, la musculature circulaire, qui contrôle la réduction du diamètre, semble moins affectée. Cette différence pourrait s'expliquer par une distribution hétérogène des canaux calciques voltage dépendant au sein des deux couches musculaires. De plus, le retard d'involution observé persiste même après un traitement rapide par administration de calcium, ce qui indique que de courtes périodes d'hypocalcémie peuvent avoir des effets durables sur la dynamique utérine (Heppelmann et al., 2015).

3. Influence de l'hypocalcémie sur la fonction immunitaire

Le calcium joue un rôle clé dans la régulation du système immunitaire inné. En tant que messenger intracellulaire, il intervient dans l'activation et le fonctionnement des leucocytes polynucléaires et des cellules mononucléées. Or, plusieurs travaux ont montré qu'un état hypocalcémique, même transitoire, réduit la concentration intracellulaire de calcium dans ces cellules. Ainsi, le nombre de neutrophiles circulants diminue et ceux qui persistent présentent des fonctions altérées : leur adhésion, leur chimiotaxie, leur migration, leur phagocytose et leur activité myéloperoxydase sont significativement réduites. Ce dysfonctionnement compromet la défense immunitaire locale et retarde la résolution de l'inflammation utérine. Par conséquent, cette immunodépression contribue à accroître la sensibilité des vaches en début de lactation aux infections, en particulier utérines (Tobolski et al., 2025).

Cliniquement, ces altérations se traduisent par une incidence accrue de métrite et d'endométrite chez les vaches hypocalcémiques. La rétention des membranes fœtales, fréquemment associée à une hypocalcémie, constitue un facteur aggravant en maintenant un substrat favorable à la prolifération bactérienne. La combinaison de contractions utérines inefficaces et de défenses immunitaires affaiblies crée un terrain propice à la persistance d'infections utérines, ce qui ralentit le processus d'involution (Tobolski et al., 2025).

C. Évaluation de la calcémie en pratique

1. Les différentes fractions du calcium et définition des seuils

La concentration plasmatique en calcium peut être exprimée sous forme de calcium total (tCa) ou de calcium ionisé (iCa). Le tCa comprend trois fractions distinctes : environ 45% est lié aux protéines plasmatiques, principalement à l'albumine, 5% est complexé avec des anions tels que le lactate et le bicarbonate, et le reste correspond au calcium ionisé libre. Ce dernier représente la fraction physiologiquement active, directement impliquée dans l'activation des voies de signalisation intracellulaire et dans de nombreux processus biologiques (Jose-Cunilleras et al., 2025).

Chez les vaches laitières, l'hypocalcémie subclinique est généralement définie par une concentration de tCa < 2,0 mmol/L soit 8,0 mg/dL, tandis que l'hypocalcémie clinique correspond à un tCa < 1,5 mmol/L soit 6,0 mg/dL. Étant donné qu'environ la moitié du calcium total est ionisée, le seuil de 1,0 mmol/L d'iCa est couramment utilisé pour distinguer les vaches subcliniquement hypocalcémiques des animaux normocalcémiques (Jose-Cunilleras et al., 2025).

2. Limites du calcium total (tCa) et intérêt du calcium ionisé (iCa)

Bien que la mesure du tCa soit simple, largement disponible et peu coûteuse, elle présente certaines limites. En effet, le tCa est influencé par la concentration en protéines plasmatiques, alors que l'iCa n'est pas soumis à ces variations, ce qui en fait un meilleur reflet de la quantité de calcium disponible pour les tissus et les processus physiologiques tels que la contraction myométriale (Cohrs et al., 2023).

Dans une étude, évaluant la relation entre le calcium ionisé et total chez les vaches laitières lors de la première semaine post-partum, il a été montré que le tCa constituait un indicateur peu fiable de l'iCa, en particulier durant les 24 premières heures suivant le vêlage. En effet, l'association entre ces deux paramètres est affectée par de nombreux facteurs physiologiques qui connaissent d'importantes variations autour du vêlage. L'adéquation du tCa comme reflet de l'iCa ne devient acceptable qu'à partir du quatrième jour post-partum. Sur la base de ces résultats, les auteurs déconseillent donc l'utilisation du tCa pour diagnostiquer l'hypocalcémie subclinique immédiatement après le vêlage, et préconisent plutôt la mesure directe de l'iCa, considérée comme la référence (Cohrs et al., 2023).

3. Modalités pratiques

En pratique, la calcémie peut être évaluée par différentes méthodes. La mesure du tCa est réalisable via des analyses sanguines classiques, disponibles dans la plupart des cliniques vétérinaires alors que la mesure de l'iCa nécessite l'utilisation d'appareils spécifiques, tels que des analyseurs du gaz du sang. Pour finir, il convient de noter que la définition de l'hypocalcémie subclinique varie selon les sources, certains auteurs adoptent des seuils légèrement différents selon le type de mesure et le contexte physiologique. Toutefois, il est important de retenir que l'évaluation précise du calcium ionisé permet d'identifier plus efficacement les vaches à risque afin de prédire les complications post-partum éventuelles (Cohrs et al., 2023).

IV. Infections utérines post-partum

A. Généralités et définitions

Les infections utérines représentent l'une des principales affections rencontrées en période post-partum chez la vache laitière. Leur incidence élevée constitue un enjeu majeur en médecine vétérinaire, non seulement en raison des pertes économiques qu'elles engendrent (diminution de la production laitière, baisse des performances reproductives, augmentation du risque de réforme précoce) mais également du fait de leur impact sur le bien-être animal (Sheldon et al., 2006).

L'identification et la classification de ces affections restent cependant complexes. En effet, la période post-partum est naturellement marquée par la présence de lochies et de sécrétions utérines liées au processus physiologique d'involution. La distinction entre un écoulement normal et pathologique n'est donc pas toujours aisée (Hanzen et al., 2009).

Les principales formes d'infections décrites après la mise bas sont la métrite puerpérale, la métrite clinique, l'endométrite clinique, l'endométrite subclinique et le pyomètre. Un pas important vers l'harmonisation a été réalisé en 2006, lorsque Sheldon et al. ont proposé des définitions standardisées de ces différentes infections utérines, qui font aujourd'hui référence dans la littérature (Sheldon et al., 2006).

- ❖ La métrite survient dans les 21 jours post-partum et correspond à une inflammation sévère et profonde affectant toutes les couches de la paroi utérine (endomètre, sous-muqueuse, musculuse et parfois séreuse).
 - La métrite clinique est définie par la présence d'un utérus anormalement dilaté, associé à un écoulement vaginal aqueux, rouge-brun, nauséabond, sans toutefois s'accompagner de signes systémiques notables.
 - La métrite puerpérale constitue une forme plus sévère, caractérisée par les mêmes lésions locales, mais accompagnée de signes généraux : hyperthermie, anorexie, chute de production laitière, léthargie... Cette forme systémique traduit un état septicémique ou toxique. Elle survient le plus souvent dans la première semaine post-partum, fréquemment à la suite d'une rétention placentaire ou d'une dystocie.
- ❖ L'endométrite apparaît généralement au-delà de 21 jours post-partum. Contrairement à la métrite, l'endométrite demeure une inflammation superficielle, limitée à l'endomètre et sans signes généraux.
 - L'endométrite clinique se caractérise par la présence d'écoulements vaginaux purulents ou muco-purulents. Elle est souvent associée à un retard d'involution utérine.
 - L'endométrite subclinique est diagnostiquée en l'absence d'écoulement vaginal pathologique, mais sur la base d'un examen cytologique révélant une proportion excessive de neutrophiles. Les seuils varient selon le moment du prélèvement : > 18% de neutrophiles entre 21 et 33 jours post-partum, ou > 10% entre 34 et 47 jours. Cette forme, bien qu'asymptomatique, a un impact significatif sur les performances de reproduction.
 - Le pyomètre est considéré comme une évolution particulière de l'endométrite clinique. Il se traduit par une accumulation massive de pus dans l'utérus, pouvant atteindre plusieurs litres, en association avec la persistance d'un corps jaune et un col fermé, ce qui explique l'absence d'écoulement vaginal.

B. Diagnostic des infections utérines en pratique

1. Examen clinique général et transrectal

Chez les vaches suspectes de métrite, l'examen général est indispensable. Il permet d'évaluer la présence de signes systémiques. Ces manifestations sont inconstantes car seulement 50 à 80% des vaches atteintes présentent une fièvre transitoire, le plus souvent entre le 2^{ème} et le 6^{ème} jour post-partum (Descôteaux et al., 2012).

La palpation transrectale reste la méthode la plus répandue sur le terrain. Elle permet d'apprécier l'état d'involution anatomique de l'utérus : diamètre et position du col, volume des cornes, consistance pariétale et présence éventuelle de liquide. Toutefois, cette technique manque de sensibilité et de spécificité, notamment pour l'endométrite chronique. Le diamètre cervical semble être un critère plus fiable, mais il n'est pas pathognomonique d'infection. La palpation offre néanmoins l'avantage de faciliter l'extériorisation de sécrétions utérines, augmentant les chances de les détecter lors de l'examen vaginal (Deguillaume et al., 2008).

2. Examen vaginal

L'évaluation du contenu vaginal constitue un élément central du diagnostic des infections utérines. Elle peut être réalisée par inspection directe (spéculum, vaginoscope), par insertion d'une main gantée ou à l'aide de dispositifs tels que le Metrichick. L'examen manuel, bien que légèrement invasif, ne présente pas de risque accru de contamination et permet de recueillir des sécrétions cervicales pour en évaluer la couleur, la viscosité et l'odeur. Ces paramètres sont directement liés à la sévérité de l'infection à la charge bactérienne. L'examen permet également de détecter des lésions associées (traumatismes obstétricaux, cervicite, vaginite...). La vaginoscopie, utilisant des outils jetables ou autoclavables, autorise une observation visuelle fine du col et du mucus utérin. Toutefois, sa mise en œuvre reste limitée en élevage en raison de sa logistique plus contraignante (Deguillaume et al., 2008).

L'évaluation macroscopique des pertes vaginales est reconnue comme une méthode simple, rapide et adaptée à une utilisation de terrain, même si elle souffre d'une variabilité inter et intra-opérateur. Plusieurs grilles de notation pour l'endométrite clinique ont été proposées, fondées sur la proportion de pus, la présence d'odeur nauséabonde ou la viscosité, mais il n'existe à ce jour aucun consensus international concernant la notation à adopter. Plusieurs systèmes de scores coexistent dans la littérature.

- ❖ L'une des grilles les plus utilisées est la suivante : (Sheldon, 2004)
 - Score 0 : mucus clair ou translucide
 - Score 1 : mucus clair contenant quelques taches de pus blanc
 - Score 2 : < 50mL d'exsudat contenant < 50% de pus blanc ou crème
 - Score 3 : > 50mL d'exsudat contenant > 50% de pus blanc, crème ou sanglant
 - L'odeur du mucus est notée 0 (absence d'odeur) et 3 (odeur nauséabonde).
 - Les scores de nature du mucus et d'odeur sont additionnés pour obtenir un score clinique d'endométrite.

- ❖ Une autre grille de notation utilise une échelle de 0 à 5 : (McDougall et al., 2007)
 - Score 0 : absence d'écoulement
 - Score 1 : mucus clair
 - Score 2 : mucus clair contenant de petites tâches purulentes
 - Score 3 : écoulement mucopurulent avec < 50% de pus
 - Score 4 : écoulement mucopurulent avec > 50% de pus
 - Score 5 : écoulement mucopurulent avec > 50% de pus accompagné d'une odeur fétide

En ce qui concerne la métrite, il n'existe pas de système de notation spécifique largement reconnu. Dans certaines publications (Barragan et al., 2019; Lal et al., 2025), des grilles similaires à celles de l'endométrite sont utilisées, mais l'évaluation repose le plus souvent sur une classification binaire (présence – absence, ou légère – sévère), associée à l'examen général de l'animal.

En complément des grilles issues de la littérature, la clinique Optivet, où a été réalisée l'étude terrain présentée en partie 3, utilise un système de graduation interne de la métrite, mis en place par le Dr Bernard, afin d'harmoniser les notations au sein de l'équipe lors des suivis de reproduction. Cette classification standardisée permet de limiter la variabilité inter-opérateur et de relier directement le grade clinique observé au traitement à instaurer, selon la sévérité de l'atteinte. La grille employée repose sur l'évaluation des sécrétions vaginales, et distingue six niveaux de gravité (communication personnelle, Dr Bernard, Clinique Optivet, 2024) :

- M1 : Mucus clair contenant quelques taches de pus blanc
- M2 : Écoulement mucopurulent avec < 50% de pus blanc
- M3 : Écoulement mucopurulent avec > 50% de pus blanc
- M4 : Écoulement purulent avec 100% de pus blanc ou rosâtre
- M5 : Métrite puerpérale liquide avec odeur nauséabonde
- M6 : Métrite puerpérale avec présence d'annexes fœtales et odeur nauséabonde

3. *Autres moyens diagnostiques*

L'échographie transrectale permet de visualiser le contenu utérin et d'identifier les cas de pyomètre, mais elle n'apporte pas d'informations supplémentaires dans le diagnostic de l'endométrite clinique. En revanche, elle peut être utilisée pour apprécier l'involution utérine et le diamètre cervical (Deguillaume et al., 2008).

Pour finir, l'endométrite subclinique, indétectable par les méthodes macroscopiques, nécessite une approche spécifique. Le diagnostic cytologique par lavage utérin ou cytobrosse est actuellement la seule méthode fiable permettant de quantifier l'infiltration de polynucléaires neutrophiles dans l'endomètre. Cette technique présente l'avantage d'être précise et peu coûteuse en matériel, mais reste contraignante en pratique car la procédure nécessite un cathétérisme cervical, du temps pour la préparation et la lecture des frottis avec l'utilisation d'un microscope, ce qui la rend peu envisageable sur le terrain (Fournier et al., 2014).

4. Limites diagnostiques

Aucune technique ne permet un diagnostic parfait. Les méthodes classiques (palpation, examen vaginal, échographie) présentent un taux important de faux positifs et de faux négatifs, lorsqu'elles sont comparées à la cytologique endométriale, considérée comme la référence. Il est donc recommandé de combiner plusieurs approches afin d'améliorer la sensibilité et la spécificité diagnostiques (Deguillaume et al., 2008).

C. Thérapeutique des infections utérines post-partum

La prise en charge thérapeutique des infections utérines repose sur trois objectifs majeurs : éliminer les agents pathogènes de la cavité utérine, restaurer une fonction utérine normale et préserver la fertilité future. Pour atteindre ces buts, plusieurs stratégies sont disponibles, qui varient selon la nature de l'affection (métrite puerpérale, métrite clinique ou endométrite), son degré de gravité et l'état général de l'animal (Descôteaux et al., 2012).

L'antibiothérapie est l'élément clé du traitement des infections utérines. Les molécules les plus fréquemment utilisées sont la pénicilline, l'oxytétracycline, l'ampicilline et le ceftiofur. Les céphalosporines de 3^{ème} et 4^{ème} génération se distinguent par leur excellente activité vis-à-vis des principaux agents pathogènes, leur bonne diffusion tissulaire et leurs délais d'attente réduits. Toutefois, il convient de rappeler que ces dernières sont classées parmi les antibiotiques critiques et que leur utilisation doit être raisonnée et limitée aux cas sévères avec la réalisation d'un antibiogramme (Descôteaux et al., 2012).

Le choix entre l'administration locale et systémique reste débattu (Descôteaux et al., 2012).

- L'infusion intra-utérine permet d'obtenir des concentrations élevées dans la lumière utérine, mais expose à des effets irritants, à un risque de traumatisme et à une efficacité limitée en présence de débris purulents. L'oxytétracycline, longtemps utilisée par cette voie, a aujourd'hui une efficacité réduite en raison de l'augmentation de la CMI des bactéries. Seule la céfapirine (Metricure) a montré une efficacité reproductible dans l'endométrite clinique.
- L'administration systémique est actuellement privilégiée dans les cas sévères ou lorsque l'infection dépasse l'utérus. Le ceftiofur et la pénicilline G procaïne sont les plus utilisés, permettant d'atteindre des concentrations efficaces dans les tissus utérins.

Dans certaines situations, des agents hormonaux visant à favoriser la vidange utérine et à stimuler la contractilité myométriale (action utéro-tonique) sont utilisés. Les prostaglandines sont régulièrement administrées, en association avec des antibiotiques, dans le cadre des infections utérines. Toutefois, l'efficacité des traitements hormonaux sur les performances de reproduction demeure discutée et controversée (Descôteaux et al., 2012).

Bilan

Au terme de cette première partie, il apparaît que l'involution utérine, bien que physiologique, est intimement liée à l'état métabolique et sanitaire de la vache en post-partum. Le bilan énergétique négatif et l'hypocalcémie, fréquemment rencontrés au cours de cette période, compromettent à la fois la contractilité myométriale, les mécanismes de réparation tissulaire et la réponse immunitaire. Ces déséquilibres interagissent entre eux et entraînent en cascade l'installation d'infections utérines, elles-mêmes responsables de retards d'involution et de dégradation des performances de reproduction. Ainsi, l'involution utérine se situe au carrefour de multiples processus physiopathologiques et constitue un indicateur précieux de l'état de santé globale de la vache en post-partum.

Néanmoins, malgré l'importance centrale de ce phénomène, l'appréciation de l'involution utérine, tant en pratique qu'en recherche, reste très variable selon les méthodes et les critères utilisés. Différentes approches coexistent dans la littérature mais aucun consensus ne permet aujourd'hui de disposer d'une méthode standardisée et reproductible. Dans ce contexte, la deuxième partie vise à réaliser un état des lieux des techniques employées pour évaluer l'involution utérine dans les différentes études scientifiques et à proposer un système de notation que nous avons mis en place.

PARTIE 2 : ÉTAT DES LIEUX DE L'ÉVALUATION DE L'INVOLUTION UTERINE ET ELABORATION D'UN SCORE

I. État des connaissances

Le retard d'involution utérine n'est pas aisé à définir, car les critères mentionnés dans la littérature sont variés : anatomiques, fonctionnels, histologiques ou encore biochimiques. En pratique, l'évaluation repose principalement sur l'examen par palpation transrectale, ce qui conduit à privilégier des critères anatomiques simples, tels que le diamètre du col utérin et la taille des cornes utérines.

Toutefois, à l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode consensuelle et standardisée permettant de mesurer objectivement l'évolution de l'utérus post-partum chez la vache. Cette absence de consensus complique la comparaison des études scientifiques. Dans cette sous-partie, nous présentons donc les principales approches décrites dans la littérature pour évaluer l'involution utérine, en abordant la durée nécessaire à son achèvement, les différentes techniques d'examen utilisées et enfin les propositions de score d'évaluation présentées dans les publications.

A. Temps et critères d'achèvement de l'involution utérine

La durée de l'involution utérine chez la vache laitière est variable et dépend notamment de la méthode utilisée pour l'évaluer. Dans la majorité des cas, l'involution est considérée comme terminée dans les 4 à 5 semaines suivant le vêlage. Certains animaux présentent même une involution précoce, observable dès la troisième semaine post-partum. À l'inverse, la persistance d'une rétention placentaire ou le développement d'une infection utérine peuvent prolonger ce processus de 30 à 50 jours supplémentaires (Kumarswamy et al., 2021).

Les critères habituellement retenus pour définir l'achèvement de l'involution sont les suivants (Descôteaux et al., 2012; STEPHEN et al., 2019) :

- le retour de l'utérus à une position normale dans la cavité pelvienne.
- la réduction de sa taille et de sa consistance à des valeurs physiologiques.
- la symétrie des deux cornes utérines.
- un diamètre cervical inférieur à 5 cm.

Sur le plan macroscopique, comme expliqué ci-dessus, l'involution peut être évaluée par le temps nécessaire à retrouver une symétrie des cornes. Certaines études rapportent un délai médian de 19 jours par palpation transrectale, tandis que d'autres, utilisant l'échographie, indiquent un délai moyen plus long, de 40 jours. Cette disparité illustre les différences liées aux critères et aux outils d'évaluation employés (STEPHEN et al., 2019). Malgré ces divergences, la majorité des travaux convergent vers un achèvement de l'involution entre le 35^{ème} et le 42^{ème} jour post-partum. Ce délai correspond également à la reprise de l'activité ovarienne, soulignant le lien étroit entre restauration utérine et reprise des cycles (Ruiz & Sandoval, 2013).

Il convient toutefois de souligner que la valeur biologique du jour précis d'achèvement de l'involution reste discutable. Les dimensions anatomiques observées (diamètre cervical, symétrie des cornes) ne reflètent pas nécessairement les remaniements cellulaires et biochimiques encore en cours (Sheldon, 2004). Néanmoins, en pratique, un seuil est retenu : la persistance d'une ou deux cornes de diamètre supérieur à 5cm au-delà de 30 jours post-partum est généralement interprétée comme un signe de retard d'involution utérine (Hanzen, 2015).

B. Les techniques d'évaluation de l'involution utérine

1. Évolution et diversité des approches d'évaluation

L'évaluation de l'involution utérine post-partum chez la vache repose sur de nombreuses méthodes, allant des approches simples et non invasives aux techniques expérimentales plus complexes. Parmi ces méthodes, la palpation transrectale et l'examen vaginal, qui ont servi de support à l'élaboration du score de l'involution utérine proposé, sont vus plus en détails ci-dessous.

Historiquement, les premières études ont utilisé la palpation transrectale et la biopsie *in vivo*, ou encore l'observation anatomo-histologique post-mortem, afin de suivre la réduction de la taille de l'utérus après le vêlage. Ces approches ont permis de décrire les grandes étapes du retour de l'utérus à son état physiologique, mais elles étaient limitées par leur caractère invasif ou leur difficulté d'application en routine clinique (Mateus et al., 2002).

Avec l'avènement de l'échographie, il est devenu possible de caractériser de manière plus précise l'évolution anatomique de l'utérus. L'échographie transrectale en mode B est désormais largement utilisée pour mesurer la taille de l'utérus, ainsi que pour détecter la présence de liquide intra-utérin ou de lésions résiduelles. Cette technique, relativement simple à mettre en œuvre, présente cependant certaines limites, notamment au cours des premiers jours post-partum, lorsque l'utérus est encore volumineux et ne peut pas être exploré dans son intégralité. La précision de l'échographie dépend également de l'expérience de l'opérateur et de la qualité de l'équipement utilisé (Heppelmann et al., 2015).

Des méthodes fonctionnelles ont également été développées pour compléter l'évaluation anatomique. La mesure de la pression intra-utérine par voie trans-cervicale ou via des cathéters implantés expérimentalement permet d'étudier les variations de tonus et de contractilité. D'autres techniques plus invasives, comme l'électromyographie ou l'enregistrement des contractions à l'aide de jauges de contrainte, ont été utilisées pour suivre la dynamique musculaire de l'utérus, mais elles restent limitées à des protocoles de recherche (Heppelmann et al., 2015).

Parmi les approches innovantes, la sonomicrométrie est une méthode expérimentale permettant d'étudier avec précision l'involution utérine. Cette technique repose sur l'implantation chirurgicale, par laparotomie, de cristaux piézoélectriques dans le myomètre de la corne gestante, généralement quelques jours / semaines avant le vêlage. Ces cristaux fonctionnent comme émetteur et récepteur d'ultrasons. En mesurant le temps de propagation du signal entre eux, il est possible de déterminer avec précision la distance qui les sépare. Ce dispositif permet ainsi un suivi continu et fiable de la réduction de longueur de l'utérus au cours du post-partum. Testée chez des vaches Prim'Holstein, la méthode a montré son intérêt pour caractériser finement l'involution utérine, mais sa nature invasive limite son utilisation aux seuls protocoles de recherche expérimentale (Heppelmann et al., 2015).

Malgré la diversité de ces méthodes, il n'existe à ce jour aucune technique permettant de suivre de manière complète, objective et continue l'ensemble du processus d'involution utérine en pratique. La combinaison de plusieurs approches demeure donc nécessaire pour obtenir une évaluation fiable de l'état de l'utérus après vêlage. La réduction de taille de l'utérus suit une dynamique logarithmique, avec des changements plus marqués avant la première ovulation post-partum, ce qui souligne l'importance de sélectionner la méthode la plus adaptée selon le stade post-partum et les objectifs cliniques ou expérimentaux.

2. Palpation transrectale

La palpation transrectale demeure la méthode de référence la plus utilisée en pratique pour évaluer et suivre l'involution utérine chez la vache. Elle présente l'avantage d'être simple et rapide à mettre en œuvre sur le terrain, peu coûteuse et immédiatement interprétable par le praticien. Elle consiste à estimer manuellement la taille, la position et la consistance de l'utérus à travers le rectum, permettant ainsi de suivre l'évolution de sa régression anatomique au cours du post-partum (Deguillaume et al., 2008).

L'évaluation repose principalement sur la mesure approximative du diamètre du col et des cornes utérines, mais également sur leur localisation par rapport au bassin et sur le tonus de l'organe. La palpation peut débuter dès les premiers jours après le vêlage. A ce stade, l'utérus est encore volumineux et occupe une position abdominale. L'examen manuel permet alors de déterminer si l'utérus est situé dans la cavité abdominale et partiellement ou totalement palpable, ou bien déjà replacé dans la cavité pelvienne. Ce critère de positionnement donne une première indication sur la rapidité de l'involution (STEPHEN et al., 2019).

Le diamètre des cornes est un autre paramètre pouvant être suivi par palpation. Celui-ci est mesuré à la base des cornes, aussi bien du côté gravide que non gravide. Le diamètre cervical est également estimé par palpation, et la persistance d'un col élargi est ainsi interprétée comme un signe de retard d'involution (STEPHEN et al., 2019).

Ces évaluations cliniques doivent être interprétées en fonction de données objectives issues d'études anatomiques. En 1968, Gier et Marion ont ainsi établi des valeurs de référence pour la régression utérine après le vêlage (Tableau I). Ces auteurs montrent que la longueur de l'utérus passe de 100 cm à 1 jour post-partum à 25 cm au 25^{ème} jour post-vêlage, tandis que son diamètre diminue de 40 cm à 3,5 cm sur la même période, et que son poids régresse de 10 kg à moins d'1 kg. Ces chiffres illustrent la rapidité et l'ampleur des modifications anatomiques caractéristiques de l'involution (Hanzen, 2015).

Tableau I : Régression anatomique de l'utérus après le vêlage (Hanzen, 2015)¹

Jours post-partum	Longueur en cm	Diamètre en cm	Poids en kg
1	100	40	10
3	90	30	8
9	45	8	4
14	32	5	1,5
25	25	3,5	0,8

L'intérêt de la palpation transrectale réside aussi dans l'évaluation qualitative de l'utérus. La consistance peut être décrite, permettant de donner des indices supplémentaires sur l'état physiologique ou pathologique de l'organe. De même, la disparition progressive du liquide intra-utérin constitue un signe favorable de bonne involution. Toutefois, la palpation seule n'est pas suffisante pour diagnostiquer avec certitude certaines affections, comme l'endométrite chronique, et reste limitée en termes de sensibilité et de spécificité. De plus, son caractère subjectif expose à une forte variabilité inter et intra-opérateurs, ce qui peut conduire à des interprétations différentes selon les praticiens (Deguillaume et al., 2008).

Il convient également de rappeler que la palpation transrectale tend à surestimer légèrement les dimensions utérines. Les mesures obtenues sont en moyenne supérieures de 1 à 2 cm par rapport à celles relevées par échographie. Cette différence s'explique probablement par le fait que le praticien inclut l'épaisseur de la paroi rectale dans son appréciation. Cette subjectivité inhérente à la méthode constitue l'une de ses principales limites (Sheldon & Owens, 2017).

Malgré ces limites, la palpation transrectale demeure un outil central pour le suivi post-partum, notamment parce qu'elle est adaptée à un grand nombre de vaches et toujours possible dans les élevages où l'échographie n'est pas systématiquement disponible. Elle représente encore aujourd'hui la base pratique sur laquelle repose la plupart des tentatives de mise au point de scores cliniques d'involution utérine.

3. Examen vaginal

L'examen vaginal constitue un outil complémentaire à la palpation transrectale pour évaluer l'état de l'utérus en post-partum. La palpation vaginale consiste à introduire le bras ganté dans le vagin pour vérifier l'intégrité de ses parois et du col. En période post-partum, cette technique permet également de recueillir des sécrétions utérines présentes à la sortie du col ou sur le plancher du vagin et de les examiner à la lumière du jour. L'évaluation repose principalement sur l'analyse quantitative et qualitative (couleur, consistance et odeur) des écoulements. Ces derniers peuvent présenter différents aspects : filants et muqueux lorsqu'ils sont physiologiques, ou bien muco-sanguinolents, floconneux ou muco-purulents lorsqu'ils témoignent d'une affection. L'odeur constitue également un critère déterminant, une odeur fétide oriente vers une métrite. De plus, l'examen vaginal fournit aussi des informations sur le degré d'ouverture cervicale. Il est normalement impossible d'introduire un doigt dans le col, sauf en cas de rétention placentaire ou d'involution utérine retardée (Descôteaux et al., 2012).

¹ Référence bibliographique issue de Gier et Marion (1968)

Ainsi, bien que relativement simple à mettre en œuvre, l'examen vaginal a une valeur diagnostique intéressante. Il permet de compléter l'évaluation anatomique par palpation transrectale, en apportant des éléments qualitatifs sur l'état du col et sur la nature des sécrétions. Néanmoins, son interprétation nécessite de distinguer les sécrétions physiologiques du post-partum des écoulements pathologiques, ce qui requiert une certaine expérience clinique.

C. Les scores proposés dans les études scientifiques

1. Les scores basés sur la palpation transrectale

Plusieurs systèmes de notation ont été développés afin de standardiser l'évaluation de l'involution utérine par palpation transrectale. Ces grilles reposent essentiellement sur la taille, la tonicité et la position de l'appareil reproducteur dans la cavité abdominale ou pelvienne.

Un système de notation a été proposé, en 2019, par Braga Paiano et al., qui ont suivi l'involution utérine chez 50 vaches, de 7 à 60 jours après la parturition. Dans cet article, la palpation transrectale a été utilisée pour évaluer la taille globale de l'utérus, tandis que l'échographie en mode B a permis de mesurer le diamètre des cornes utérines. En combinant ces deux techniques, ils ont établi l'échelle suivante (Braga Paiano et al., 2019) :

- Score 1 : Utérus rétractable et corne utérine < 2 cm
- Score 2 : Utérus rétractable et corne utérine de 3 à 5 cm
- Score 3 : Utérus rétractable et corne utérine de 6 à 8 cm
- Score 4 : Marges de l'utérus délimitables à la main et corne utérine de 9 à 20 cm
- Score 5 : Partie de l'utérus non ou incomplètement palpable
- Score 6 : Marges de l'utérus impossibles à délimiter à la main

Young et al. ont développé un autre système basé sur la taille et la position de l'appareil reproducteur (SPS pour size and position score), examen réalisé avant l'insémination artificielle (Figure 2). Ce score classe les vaches en trois catégories selon la palpation transrectale (Young et al., 2017) :

- SPS1 : appareil reproducteur petit, compact, localisé dans la cavité pelvienne
- SPS2 : appareil reproducteur intermédiaire, partiellement situé hors du bassin
- SPS3 : appareil reproducteur volumineux, situé principalement à l'extérieur du bassin

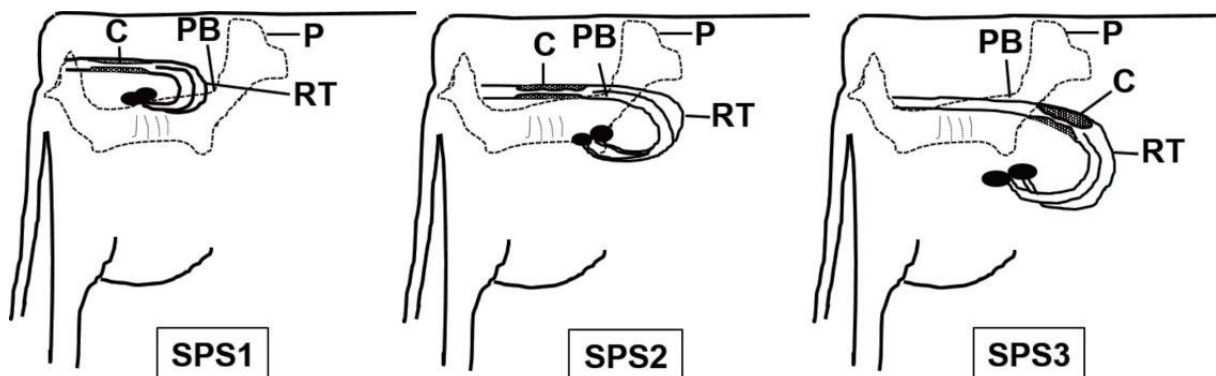


Figure 2 : Illustration des trois scores basés sur la taille et la position du tractus génital (Young et al., 2017)

Légende : C = col de l'utérus, P = bassin, RT = appareil reproducteur, PB = bord pelvien

Des mesures échographiques complémentaires ont validé la pertinence de cette classification en confirmant que les différents scores SPS différaient en termes de taille des cornes utérines, du col de l'utérus et du diamètre total des structures mesurées. Les auteurs ont conclu que les vaches SPS3 présentaient en moyenne une fertilité plus faible, avec une probabilité de gestation réduite d'environ 15% par rapport aux vaches SPS1. Ce score apparaît donc comme un outil pratique, simple d'utilisation et directement exploitable en élevage pour identifier les animaux à risque (Young et al., 2017).

Ce score SPS a servi de base à une classification plus récente, dans laquelle deux critères supplémentaires ont été intégrés : la tonicité de l'utérus et la présence ou non de marges utérines palpables. Les vaches ont été examinées de manière répétée entre le vêlage et 59 jours post-partum, ce qui a permis de suivre de près l'évolution de l'utérus. Ce score élargi se décline en trois catégories (Vallejo-Timaran et al., 2021) :

- Score 1 : Appareil reproducteur positionné entièrement dans la cavité pelvienne, avec une tonicité élevée et des marges utérines palpables.
- Score 2 : Appareil reproducteur dont le col est situé dans la cavité pelvienne mais dont les cornes dépassent encore vers la cavité abdominale, avec une tonicité intermédiaire et des marges utérines partiellement palpables.
- Score 3 : Appareil reproducteur dont le col et les cornes utérines sont dans la cavité abdominale, avec un utérus flasque plus grand qu'une main et des marges impossibles à évaluer. Ce score est considéré comme pathologique s'il persiste entre 41 et 50 jours post-partum, traduisant alors un retard d'involution utérine.

2. Les scores basés sur l'examen vaginal et les pertes utérines

Une large étude épidémiologique menée au Danemark sur plus de 398 000 lactations de vaches Prim'Holstein a évalué un système de notation allant de 0 à 9 pour classer les pertes vaginales de 5 à 19 jours post-partum. Cette échelle prend en compte l'aspect, la quantité et l'odeur des sécrétions, permettant d'objectiver leur évaluation (Elkjær et al., 2013).

- Score 0 : Absence ou très faible quantité de sécrétions muqueuses claires et sans odeur.
- Score 1-2 : Très faible quantité de sécrétions muqueuses sanglantes / grises et sans odeur.
- Score 3-4 : Importante quantité de sécrétions séromuqueuses sanglantes / gris-jaune et sans odeur.
- Score 5-6 : Faible ou importante quantité de sécrétions purulentes avec des différences de textures et de couleur, et odeur anormale.
- Score 7-8 : Importante quantité de sécrétions de couleur rouge-brunâtre / grisâtre avec odeur nauséabonde.
- Score 9 : Importante quantité de sécrétions brun-jaune avec odeur nauséabonde, souvent associée à une rétention placentaire.

L'analyse de cette vaste cohorte a montré qu'un score croissant était significativement associé à une prolongation de l'intervalle vêlage-première insémination artificielle et à une diminution du taux de non-retour en chaleur à 56 jours après l'insémination. En d'autres termes, plus le score était élevé, plus la probabilité de retard de la reprise de l'activité reproductrice et d'échec à l'insémination augmentait (Elkjær et al., 2013).

Sur le plan pratique, ce système de notation est utilisé comme outil d'aide à la décision thérapeutique. En particulier, un score supérieur ou égal à 5 est généralement considéré comme anormal et justifie la mise en place d'un traitement contre la métrite. L'intérêt majeur de cette échelle est de fournir une méthode standardisée, reproductible et facile à appliquer sur le terrain, permettant d'harmoniser le diagnostic et le suivi des infections utérines post-partum. Néanmoins, l'appréciation des glaires cervicales reste soumise à une part de subjectivité, liée notamment à l'expérience et à la sensibilité de l'examineur (Elkjær et al., 2013).

3. Les scores combinés intégrant plusieurs critères

La complexité du processus de l'involution utérine a conduit à évoluer vers des approches intégrant plusieurs paramètres, afin de rendre l'analyse plus complète et de mieux prédire la reprise de la cyclicité. Contrairement aux scores limités à un seul critère (taille, position ou pertes vaginales), certains auteurs ont proposé des systèmes prenant en compte à la fois des éléments anatomiques (taille, position, symétrie des cornes) et fonctionnels (tonicité, contenu utérin, activité ovarienne).

Un exemple représentatif est celui proposé par Ruiz et Sandoval, en 2013, qui ont développé un score clinique de l'involution utérine basé sur 205 examens gynécologiques réalisés sur 78 vaches tous les 14 jours à partir du 14^{ème} jour post-partum (Tableau II). Les auteurs ont évalué plusieurs variables, chaque paramètre recevait une note et la moyenne permettait d'obtenir un score global compris entre 1 (involution quasi-complète) et 5 (involution retardée) (Ruiz & Sandoval, 2013).

Tableau II : Description du score de l'involution utérine (Ruiz & Sandoval, 2013)

Paramètre évalué	Score 1	Score 2	Score 3	Score 4	Score 5
Épaisseur cervicale	≤ 3 cm		3-6 cm		> 6 cm
Position utérine	Pelvienne		Intermédiaire		Abdominale
Épaisseur corne utérine	Fines ≤ 1,5 cm	Moyennes 1,5-3,5 cm		Épaisses 3,5-5,5 cm	Très épaisses > 5cm
Symétrie des cornes	Symétriques				Asymétriques
Tonicité utérine	Ferme	Flasque			Absence de tonus
Contenu utérin	Absence de contenu	Peu de contenu		Abondant	Très Abondant
Consistance	Normale			Enflammée	Dure
Épaisseur paroi utérine	Normale			Épaissie	Très épaissie
Structures ovariennes	Corps jaune, follicule ovulatoire	Petits follicules	Ovaires lisses sans structures palpables	Kystes	Ovaires de taille réduite

Une étude complémentaire a appliqué ce score afin de suivre l'involution utérine chez des vaches laitières du 7^{ème} au 56^{ème} jour post-partum. Les résultats obtenus ont permis d'établir des repères chronologiques précis. La symétrie des cornes utérines était généralement retrouvée vers le 20^{ème} jour, les lochies devenaient transparentes autour du 18^{ème} jour et la fermeture du col intervenait en moyenne au 24^{ème} jour (Balarezo U et al., 2018).

Un autre exemple d'approche combinée est fourni par l'étude réalisée par Canabrava et al., en 2014, menée sur 19 vaches à partir du jour du vêlage et jusqu'à 44 jours post-partum. L'involution utérine a été évaluée à l'aide d'un système de notation combinant plusieurs techniques complémentaires, permettant d'obtenir une vision globale de l'état de l'appareil reproducteur post-partum (Matoso Nunes Canabrava et al., 2014) :

- Palpation transrectale : détermination de la position anatomique de l'utérus, classée selon sa présence dans la cavité abdominale, pelvienne ou intermédiaire
- L'échographie transrectale : mesure du diamètre des cornes et du corps utérins, présence ou non de corps jaunes sur les ovaires
- Vaginoscopie : évaluation de la coloration de l'endomètre et de la présence de lésions dans le vagin ou au niveau de l'orifice cervical externe
- Prélèvement de sécrétions vaginales qui ont été classées en six catégories :
 - Score 1 : Sécrétions claires et translucides
 - Score 2 : Sécrétions sanguinolentes
 - Score 3 : Sécrétions couleur chocolat
 - Score 4 : Sécrétions claires avec flocons de pus
 - Score 5 : Sécrétions purulentes : contenu < 50 mL avec moins de 50% de pus
 - Score 6 : Sécrétions purulentes : contenu > 50 mL avec plus de 50% de pus

4. Autres approches expérimentales

En complément des méthodes cliniques classiques, certaines approches expérimentales ont été développées pour affiner le diagnostic post-partum. C'est le cas du Metrastatum, un dispositif conçu pour mesurer à la fois le degré d'involution utérine et les caractéristiques des sécrétions vaginales. L'appareil se présente sous la forme d'une tige graduée introduite dans le vagin afin de déterminer la distance col-vulve (DCV), tout en recueillant à son extrémité des lochies pour une analyse physico-chimique (couleur, texture, odeur, présence de sang) (Jakupov et al., 2021).

Chez les vaches saines, la DCV diminue progressivement au fil des jours post-partum, passant d'environ 38 cm à 1-2 jours à près de 25 cm entre 10 et 16 jours, moment où l'utérus est bien rétracté dans la cavité pelvienne. Les sécrétions observées sont alors généralement claires, épaisses et inodores. À l'inverse, chez les vaches atteintes de troubles utérins, la réduction de la DCV est moins marquée (31 cm à 10-16 jours) et les lochies apparaissent plus abondantes, rouges ou brunâtres, traduisant un retard d'involution et une persistance de l'inflammation (Jakupov et al., 2021).

Sur la base de ces observations, des critères diagnostiques ont été proposés (Jakupov et al., 2021) :

- État normal : $DCV \leq 26$ cm à 10-16 jours post-partum, glaire claire, incolore et visqueuse.
- État pathologique : $DCV \geq 27$ cm à la même période, sécrétions altérées en couleur, odeur ou consistance.
- Subinvolution utérine : Écoulement sanguinolent persistant jusqu'à 15 jours allant du rouge-brun au rouge clair, puis brun clair à gris après 22 jours.

Bilan

L'analyse des différents systèmes de notation présentés met en évidence la diversité des approches proposées pour évaluer l'involution utérine post-partum chez la vache laitière. Cette pluralité reflète à la fois la complexité du phénomène physiologique étudié et la difficulté à définir des critères à la fois objectifs, reproductibles et applicables en condition de terrain.

D'un point de vue méthodologique, les grilles existantes reposent souvent sur des paramètres qualitatifs (comme la tonicité utérine, la consistance ou la quantité de sécrétions), dont l'interprétation reste subjective et dépendante de l'expérience de l'opérateur. Les études de Braga Paiano et al. (2019) ou de Vallejo-Timaran et al. (2021) illustrent cette limite. Bien que les termes de tonicité élevée, intermédiaire et flasque traduisent des observations cliniques pertinentes, leur évaluation manque de référentiel chiffré. Il en va de même pour les critères de quantité importante ou faible de lochies décrits dans les scores vaginaux de Elkjær et al. (2013), pour lesquels aucun volume ni seuil mesurable n'est défini, rendant leur reproductibilité entre observateurs incertaine.

De plus, plusieurs systèmes s'appuient sur des paramètres anatomiques simples (taille, position, symétrie des cornes) sans intégrer d'éléments fonctionnels ou physiopathologiques tels que la contractilité myométriale, l'état inflammatoire ou la présence de structures ovariennes. Cette approche partielle ne permet pas toujours de distinguer un simple retard mécanique d'involution d'une pathologie sous-jacente. Les travaux de Ruiz et Sandoval (2013) et de Canabrava et al. (2014) ont tenté de pallier cette lacune en combinant plusieurs critères (position, tonicité, contenu utérin, activité ovarienne), mais au prix d'une complexité d'application qui restreint leur utilisation à des contextes de recherche ou de suivi de reproduction approfondi.

Enfin, même si certaines classifications ont démontré leur corrélation avec la performance reproductive, comme le score SPS de Young et al. (2017), associé à une diminution de la fertilité des vaches à score élevé, la majorité des systèmes publiés n'ont pas fait l'objet de validation à large échelle ni d'évaluation de leur reproductibilité inter-examineurs. Les outils expérimentaux tels que le Mestratum, bien qu'intéressants sur le plan exploratoire, restent difficilement transposables en pratique courante.

Ainsi, la littérature souligne la nécessité d'une standardisation des méthodes d'évaluation de l'involution utérine. Ceci est d'autant plus important que les conséquences d'une involution utérine incomplète ou retardée sont multiples : augmentation du risque d'infections utérines, retard de la reprise de cyclicité ovarienne, allongement de l'intervalle vêlage-première insémination, baisse du taux de gestation, voire, dans les cas graves mise en jeu du pronostic vital lors de rétention placentaire.

C'est afin de limiter ces conséquences et de répondre à ces limites méthodologiques que j'ai souhaité élaborer un score d'involution utérine. Ce travail s'appuie sur l'analyse critique des différents systèmes proposés dans les écrits scientifiques, en cherchant à en conserver les atouts, tout en réduisant leurs inconvénients.

II. Élaboration d'un score de l'involution utérine

A. Contexte et choix de la méthode d'évaluation

Le suivi précis de l'involution utérine constitue un élément fondamental dans le diagnostic des troubles post-partum de l'utérus, tels que les métrites, l'endométrite ou les retards d'involution. Une involution incomplète peut aboutir à des conséquences directes sur la fertilité ultérieure, en retardant la reprise de l'activité ovarienne et en augmentant le risque d'infection utérine. La surveillance régulière et standardisée de ce processus est donc essentielle, à la fois pour la santé de l'animal et pour la rentabilité de l'élevage.

Par ailleurs, dans la clinique vétérinaire Optivet, où a été menée l'étude terrain présentée en partie 3, le suivi de reproduction représente une part importante de l'activité, en particulier chez les vaches fraîches vêlées, afin de détecter précocement les complications utérines. Toutefois, l'évaluation de l'involution reste partielle et subjective, sans système de notation précis. Ainsi, il est utile de disposer d'outils d'évaluation fiables, reproductibles et adaptés à la pratique quotidienne. Le score d'involution utérine que j'ai développé dans le cadre de ce travail repose sur la palpation transrectale et l'examen vaginal, deux techniques couramment employées en suivi de reproduction. Il est indispensable de privilégier un système d'évaluation applicable dans tous types d'élevage, accessible à tout praticien et ne nécessitant pas de matériel spécialisé.

Ce choix méthodologique répond à une contrainte de terrain. En effet, certaines vaches sont parfois examinées dans les heures ou les premiers jours suivant le vêlage. Dans cette situation, l'échographie présente plusieurs limites. D'une part, comme évoqué dans la partie 2 I.B.1., elle ne permet pas toujours de visualiser l'utérus dans son intégralité en post-partum immédiat. D'autre part, sa réalisation requiert un temps supplémentaire qui peut se révéler incompatible avec la rapidité des suivis de reproduction. Enfin, en pratique, les vaches fraîchement vêlées sont rarement soumises à une échographie, puisqu'il n'est pas nécessaire de visualiser les structures ovariennes à ce stade.

L'intégration de la palpation transrectale et de l'examen vaginal dans la construction d'un score permet donc de proposer une approche pratique et standardisée, alliant faisabilité sur le terrain et pertinence clinique. Ainsi, ce score s'inscrit dans la continuité des méthodes combinées proposées par d'autres auteurs ci-dessus, qui montrent que l'intégration de plusieurs critères augmente la précision et la valeur prédictive des scores d'involution utérine. Un tel score permet également d'homogénéiser l'évaluation entre animaux, en offrant un outil de comparaison directe entre vaches d'un même troupeau ou de différents élevages, notamment dans le cadre des études terrains.

B. Choix des paramètres évalués

Afin de construire ce score de l'involution utérine, trois critères ont été retenus pour évaluer l'état utérin post-partum : l'ouverture du col utérin, l'aspect des glaires cervico-vaginales et la taille de l'utérus. Chacun de ces critères traduit une dimension essentielle du processus physiologique de l'involution et a déjà été identifié comme pertinent et fiable dans plusieurs études scientifiques antérieures. Leur combinaison au sein d'un même score permet d'obtenir une vision globale de l'état utérin, tout en garantissant une évaluation rapide.

1. Ouverture du col utérin (D)

La fermeture progressive du col est un marqueur essentiel de l'avancée de l'involution. Après le vêlage, le diamètre cervical est initialement très large puis diminue de façon progressive. En pratique, l'ouverture peut être évaluée par l'introduction de doigts dans le canal cervical lors d'un examen vaginal. L'appréciation est réalisée par fouille vaginale, après un nettoyage soigneux de la vulve afin de limiter les contaminations ascendantes. L'opérateur introduit une main gantée propre et lubrifiée dans le vagin, jusqu'à atteindre l'orifice cervical externe. La grille de notation proposée se décline de 0 à 6 selon le nombre de doigts ou de la main pouvant traverser le col :

- D0 : col fermé
- D1 : 1 doigt à travers le col
- D2 : 2 doigts à travers le col
- D3 : 3 doigts à travers le col
- D4 : 4 doigts à travers le col
- D5 : 5 doigts à travers le col
- D6 : main / bras à travers le col.

2. Aspect des glaires cervico-vaginales (G)

L'examen qualitatif des sécrétions permet d'évaluer à la fois le stade de l'involution et la présence éventuelle de résidus placentaires ou d'infections utérines. Ce paramètre complète l'évaluation anatomique en intégrant une dimension fonctionnelle et pathologique. Néanmoins, l'analyse des sécrétions garde une part de subjectivité, notamment dans l'appréciation des nuances de couleur et de consistance, ce qui peut entraîner une variabilité inter-observateurs. C'est pourquoi, des photos seront ajoutées à la fin de cette partie afin d'illustrer les différents grades. Après l'évaluation de l'ouverture cervicale, les sécrétions sont recueillies directement à l'entrée du col de l'utérus ainsi que sur le plancher du vagin. Ces sécrétions sont ensuite observées, si possible à la lumière du jour, afin d'en apprécier la couleur, la consistance et l'odeur. La grille de notation retenue est la suivante :

- G0 : glaire propre, inodore et translucide, totalement dépourvue de sang
- G1 : glaire fluide, inodore et translucide, contenant de discrètes traces de sang rouge (< 10 % du volume total)
- G2 : glaire fluide, inodore et contenant une proportion modérée de sang rouge (10 - 50 % du volume total)
- G3 : glaire homogène, fluide, inodore et composée à plus de 50 % de sang clair (teinte rose, rouge clair, marron clair, jaune, orangée)
- G4 : glaire homogène, épaisse, inodore et composée à plus de 50 % de sang foncé (teinte rouge foncé, marron foncé, violacée, noire)
- G5 : glaire contenant du pus (mucopurulente ou purulente) et accompagnée d'une odeur anormale
- G6 : glaire contenant des lambeaux de délivrance et accompagnée d'une odeur nauséabonde.

G0 et G1



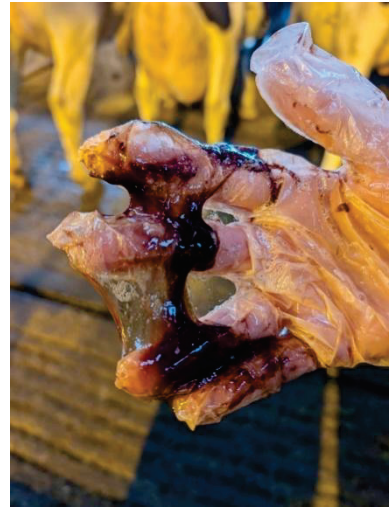
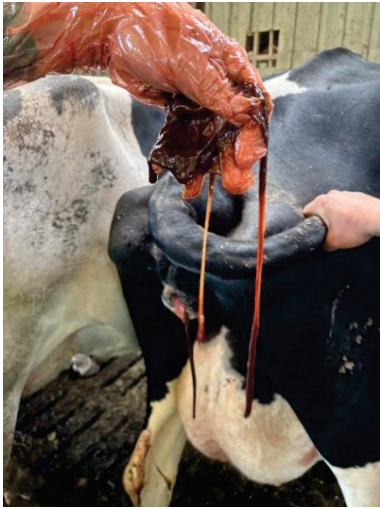
G2



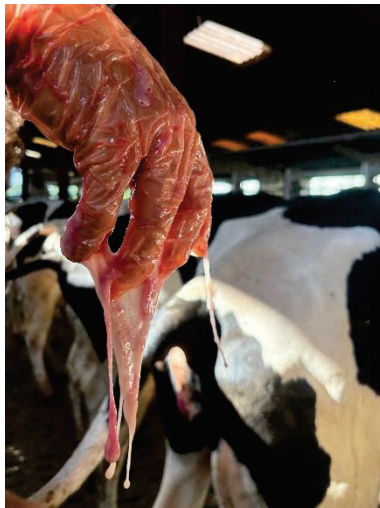
G3



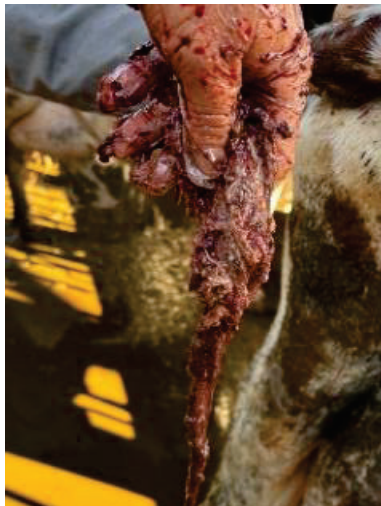
G4



G5



G6



3. Taille de l'utérus (T)

La régression volumique de l'utérus est estimée par palpation transrectale, selon une échelle basée sur des repères anatomiques simples (main, avant-bras, bras). Cette méthode, largement utilisée en pratique, présente l'avantage d'être rapide et reproductible. Toutefois, son interprétation reste approximative et dépend à la fois de l'expérience du praticien et de la taille de son bras. L'examen s'effectue après introduction d'une main gantée à travers le rectum, jusqu'à repérer l'extrémité crâniale de l'utérus. La distance parcourue par le bras permet d'apprécier à la fois le volume et la position de l'organe par rapport au bassin :

- Si seule la main est introduite (poignet au niveau de la base de la queue), l'utérus correspond à une taille réduite et se situe en position pelvienne.
- Si l'avant-bras est engagé (coude au niveau de la base de la queue), l'utérus est en position intermédiaire, traduisant une involution en cours.
- Si le bras entier est introduit (épaule au niveau de la base de la queue), l'utérus occupe une position abdominale, comme observé en post-partum précoce ou lors d'un retard d'involution.

Au-delà de la taille et de la position, l'évaluation inclut le caractère contournable ou non de l'utérus. Un utérus contournable, dont les contours sont bien délimités à la palpation, traduit une tonicité satisfaisante du myomètre et une progression de l'involution. À l'inverse, un utérus non contournable suggère un manque de rétractation et une tonicité réduite. Ainsi, afin d'objectiver l'état de l'utérus, une échelle de notation a été établie selon les critères suivants :

- T0 : utérus de la taille d'une main, « regroupable »
- T1 : utérus de la taille d'un avant-bras
- T2 : utérus de la taille d'un bras, contournable
- T3 : utérus de la taille d'un bras, non contournable
- T4 : utérus de taille supérieure à un bras.

C. Construction du score global d'involution utérine

Afin d'intégrer l'ensemble des observations cliniques en un indicateur unique et exploitable en pratique, un score global d'involution utérine a été conçu à partir des trois paramètres décrits précédemment : l'ouverture du col (D), l'aspect des glaires cervico-vaginales (G) et la taille de l'utérus (T). Chacun de ces critères est noté sur une échelle croissante, allant de la situation physiologique (valeurs basses) vers la situation pathologique (valeurs élevées), ce qui reflète la progression ou les éventuelles anomalies du processus d'involution.

Le principe retenu repose sur l'addition des trois notes partielles (D + G + T), donnant ainsi un score total compris entre 0 (utérus involué, col fermé, glaire propre) à 16 (utérus volumineux, col largement ouvert, sécrétions pathologiques persistantes). Ainsi, un score bas témoigne d'une involution bien avancée et physiologique, tandis qu'un score élevé indique un processus retardé ou pathologique nécessitant une surveillance accrue. Cette classification repose sur des seuils physiologiques décrits dans la littérature, notamment concernant la dynamique de fermeture cervicale, l'évolution des sécrétions utérines et la régression volumique de l'utérus.

Pour en faciliter l'application lors des suivis de reproduction, les valeurs obtenues ont été regroupées en quatre classes, notées de S1 à S4 (Figure 3). Chaque palier traduit un degré d'avancement du processus involutif, depuis la situation physiologique où l'involution anatomique est achevée (S1), jusqu'aux cas pathologiques (S4). Afin de renforcer la valeur clinique de l'outil, certains critères majeurs ont été définis comme seuil d'alerte : la présence de sécrétions anormales (G5 ou G6) ou le maintien d'un col largement ouvert (D5 ou D6) au-delà de 21 jours post-partum conduisent automatiquement à classer l'animal en S4, quel que soit le score total.

❖ **S1 (D + G + T = 0 à 4) : Involution complète ou quasi-achevée**

- Description : Le col est fermé ou à peine perméable, les sécrétions sont propres et translucides, et l'utérus, de petite taille, est regroupable en position pelvienne.
- Temporalité : Ce stade est attendu à partir de J20 post-partum. Lorsqu'il est observé avant cette date, il traduit une involution particulièrement rapide ou avancée.

❖ **S2 (D + G + T = 5 à 8) : Involution intermédiaire (retardée si > J20 post-partum)**

- Description : Le col n'est pas encore totalement fermé, les sécrétions peuvent présenter des traces sanguinolentes ou une teinte rosée à rouge clair compatibles avec un post-partum physiologique, tandis que l'utérus poursuit sa régression volumique sans avoir encore atteint son stade terminal.
- Temporalité : Ce stade est physiologique lorsqu'il est observé entre J10 et J19 post-partum, correspondant à une phase de transition normale. Si ce score apparaît avant J10, il reflète une involution en avance par rapport à la cinétique habituelle. En revanche, s'il est encore retrouvé au-delà de J20, il traduit un retard d'involution.

❖ **S3 (D + G + T = 9 à 12) : Involution initiale (retardée si > J10 post-partum)**

- Description : Le col est ouvert, les sécrétions sont encore abondantes et peuvent être teintées de sang clair ou foncé, l'utérus est volumineux et situé en position abdominale.
- Temporalité : Ce stade peut être considéré comme physiologique uniquement entre J0 et J9 post-partum. Au-delà de J10, un score S3 reflète un ralentissement marqué du processus d'involution, suggérant un risque accru de complication infectieuse ultérieure.

❖ **S4 (D + G + T = 13 à 16) : Involution pathologique**

- Description : Ce stade reflète une altération de l'état utérin, caractérisée par un col ouvert, des sécrétions anormales et une taille utérine conséquente. Il peut résulter soit d'un score cumulé très élevé, soit de la présence de critères d'alerte (G5 et G6 ou D5 et D6 au-delà de 21 jours).
- Temporalité : Ce score peut être observé à n'importe quel moment du post-partum et nécessite une prise en charge thérapeutique (vidange utérine, lavage utérin, antibiothérapie).

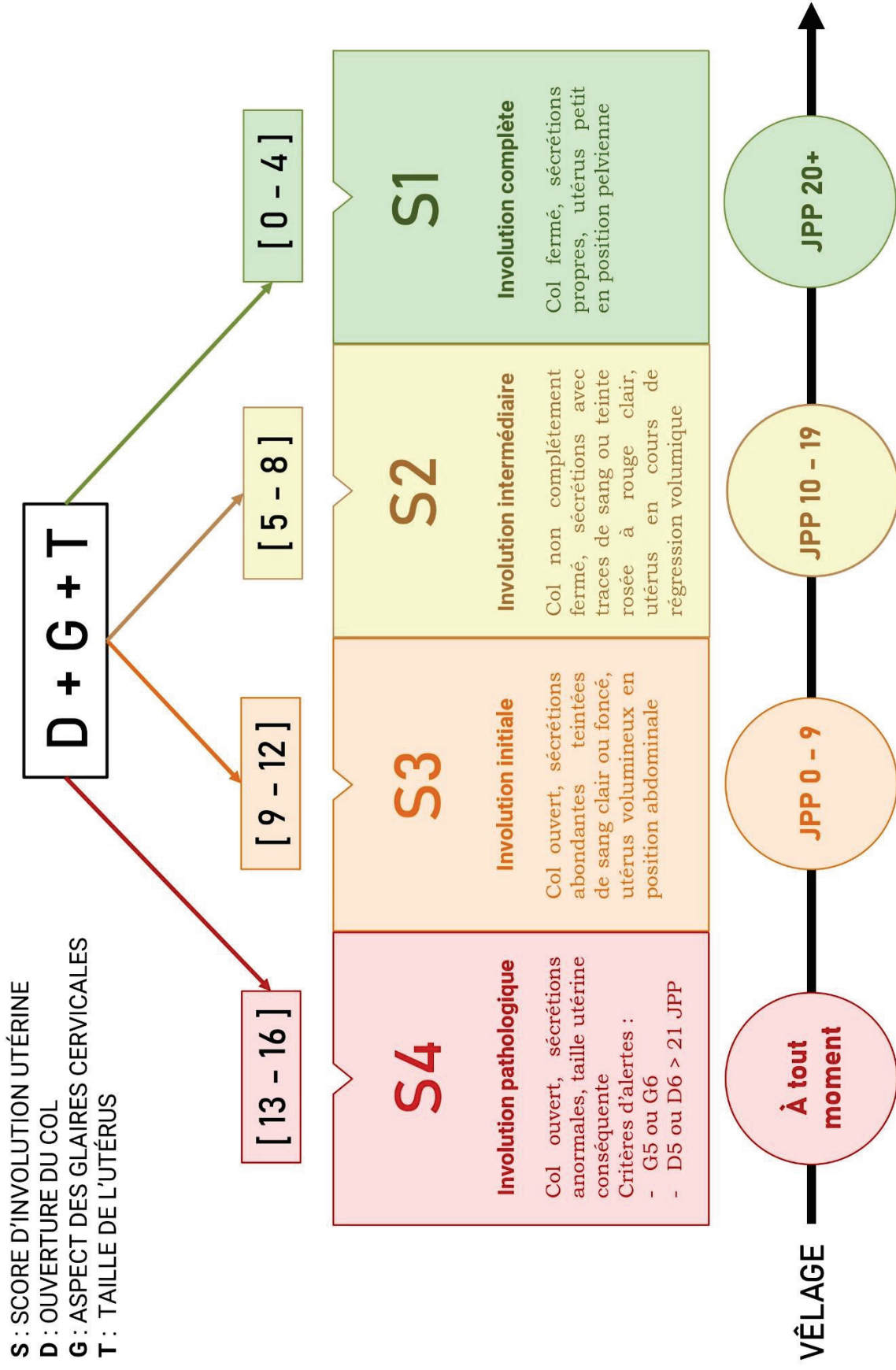


Figure 3 : Schéma représentant l'évolution du score de l'involution utérine

D. Validation préliminaire du score d'involution utérine sur le terrain

Avant le lancement de l'étude expérimentale présentée dans la partie 3, le score a été testé en conditions réelles, pendant une période de deux mois au cours des suivis de reproduction dans plusieurs élevages laitiers de la clientèle de la clinique vétérinaire Optivet. Cette phase exploratrice a permis d'apprécier la mise en œuvre du score sur le terrain, sa facilité et sa clarté d'utilisation, ainsi que de préciser certains critères d'appréciation lorsque des ambiguïtés étaient relevées.

Au total, environ une centaine de vaches fraîchement vêlées ont été examinées et notées entre le premier et le 21^{ème} jour post-partum. Pour une vingtaine d'entre elles, l'évaluation a été réalisée simultanément par deux personnes, le vétérinaire en charge du suivi et moi-même, afin d'en vérifier la reproductibilité inter-examineur. Cette étape préliminaire a permis de confirmer la bonne cohérence des notations entre praticiens et de valider la faisabilité du score en routine clinique.

Bilan

De nombreuses techniques permettant d'apprécier l'involution utérine sont recensées dans la littérature scientifique. Les scores intégrant plusieurs paramètres se distinguent par leur capacité à fournir une évaluation plus précise. C'est sur ce principe que repose le score que j'ai élaboré, basé sur des critères déjà identifiés comme pertinents dans les textes bibliographiques : ouverture du col utérin, aspect des glaires cervico-vaginales et taille de l'utérus. La simplification de ce score en quatre paliers (S1 à S4) constitue un outil synthétique et pratique, conçu pour faciliter le suivi du processus post-partum chez la vache laitière en condition terrain. L'élaboration d'un tel score a été motivée par la nécessité de pouvoir mener l'étude terrain décrite dans la partie 3, permettant ainsi une comparaison plus aisée et standardisée de l'involution utérine entre les animaux et les différents troupeaux. Avant son intégration dans le protocole expérimental, le score de l'involution utérine a été testé sur le terrain dans le but de renforcer la fiabilité et la puissance statistique des résultats présentés dans la partie 3.

De plus, ce score, développé dans le cadre du présent travail, s'inscrit directement dans la pratique quotidienne de la clinique vétérinaire Optivet, où les vaches fraîchement vêlées (0 à 21 jours post-partum) font systématiquement l'objet d'un examen post-partum. Cette visite a pour objectif de détecter précocement les complications utérines, notamment les métrites et les rétentions placentaires, ces dernières pouvant parfois être graves, voire mortelles si elles ne sont pas prises en charge à temps.

Jusqu'à présent, dans cette clinique, l'évaluation de l'involution utérine reposait sur une appréciation partielle et essentiellement qualitative, sans échelle de gradation précise, contrairement aux infections utérines qui font l'objet d'une notation systématique comme évoquée dans la partie 1 IV.B.2. L'élaboration de ce score a donc eu pour objectif d'harmoniser les pratiques d'évaluation entre vétérinaires au sein de la clinique, en réduisant la subjectivité des observations.

PARTIE 3 : ÉTUDE TERRAIN DE L'IMPACT DU C FOR UTEROPHYT SUR L'ETAT UTERIN ET METABOLIQUE

I. Contexte et objectifs de l'étude

Au cours des dernières années, les suivis de reproduction en élevage laitier ont connu un essor considérable, témoignant d'une volonté croissante des éleveurs d'optimiser la santé reproductive et la rentabilité de leurs troupeaux. Parmi les problématiques rencontrées, le retard d'involution utérine occupe une place centrale. Étroitement lié aux métrites et autres affections utérines post-partum, il représente une source importante de pertes économiques pour les éleveurs. Ces pertes sont à la fois directes, par le coût des traitements et des interventions vétérinaires, et indirectes, via la diminution de la production laitière, l'allongement de l'intervalle vêlage-première insémination et la baisse du taux de réussite à l'insémination. L'impact de ces troubles sur les performances globales du troupeau en fait donc un enjeu majeur en pratique vétérinaire.

Face à ces problématiques, l'examen gynécologique des vaches en péripartum représente un outil indispensable, permettant d'identifier précocement les anomalies et d'intervenir de façon ciblée. Parallèlement, l'émergence de nouvelles stratégies thérapeutiques reflète la volonté de réduire le recours aux antibiotiques, en réponse aux préoccupations de santé publique et aux attentes sociétales. Dans ce contexte, l'utilisation de produits non médicamenteux, tels que les compléments alimentaires ou les solutions à base de phytothérapie, se développe de manière significative. Certains de ces produits visent notamment à stimuler la tonicité utérine, soutenir la fonction métabolique et renforcer les capacités naturelles de défense des animaux.

Dans cette optique, l'étude porte sur l'utilisation du bolus C for UtéroPhyt, du laboratoire Savetis, administré par voie orale à l'aide d'un lance-bolus. Il se présente sous la forme d'un complément alimentaire de 200 g associant des sels minéraux, dont du chlorure de calcium (apportant 29,4 g de calcium par bolus) et du chlorure de magnésium, ainsi qu'un mélange de plantes en poudre et en macération (menthe poivrée, origan, ortie, pissenlit, thym, romarin, aunée...).

Selon les indications fournies par le laboratoire, le bolus C for UtéroPhyt présente plusieurs propriétés :

- favoriser la tonicité et la vidange utérine,
- stimuler la fonction hépatique de détoxification et la fonction rénale d'élimination des déchets,
- relancer l'appétit et soutenir l'animal en période de convalescence,
- contribuer à limiter le stress oxydatif et le processus inflammatoire.

L'utilisation de ce type de produit repose donc sur l'hypothèse qu'un soutien métabolique renforcé, associé à une meilleure tonicité utérine, pourrait limiter l'apparition de troubles post-partum et, par conséquent, améliorer les performances de reproduction. Afin d'évaluer objectivement ces effets, l'étude s'appuie sur le score d'involution utérine élaboré et décrit dans la partie 2 II.C. Ce score permet d'apprécier et de comparer la dynamique d'involution entre animaux. Il représente donc un moyen objectif pour mesurer l'influence du complément alimentaire sur la santé utérine.

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- Étudier l'impact d'un bolus C for UtéroPhyt, administré le jour du vêlage, sur l'involution utérine, l'incidence des infections utérines et sur deux paramètres métaboliques majeurs du post-partum : la calcémie et les corps cétoniques sanguins.
- Rechercher des corrélations éventuelles entre les différents paramètres étudiés, notamment entre le score d'involution et le statut calcique ou cétonique, entre la présence d'infections utérines et les concentrations en calcium et BHB, ou encore entre la parité et l'ensemble de ces variables.

II. Matériels et méthodes

A. Lieux et population d'étude

1. *Choix des exploitations*

L'étude a été conduite dans trois exploitations laitières, désignées A, B et C, toutes localisées dans le département de l'Ain (01), en région Auvergne-Rhône-Alpes, appartenant à la clientèle de la clinique vétérinaire Optivet (Figure 4). Ces élevages se trouvent dans un périmètre géographique restreint, délimité par un cercle de 22 km de diamètre, ce qui permet de limiter les biais liés aux différences climatiques ou environnementales. Ils sont tous conduits selon un système de stabulation libre en couchage logette et équipés de robots de traite, garantissant une similarité entre les élevages.

Les exploitations ont été sélectionnées en raison de la taille conséquente de leur cheptel. Les effectifs moyens en production au moment de l'étude étaient de 201 vaches pour l'élevage A, 108 pour l'élevage B et 163 pour l'élevage C. Ces structures présentent des performances de reproduction globalement conformes aux objectifs techniques de la filière, avec un intervalle vêlage-vêlage compris entre 368 et 423 jours, un intervalle vêlage-première insémination variant de 79 à 105 jours, et un taux de réussite à la première insémination oscillant entre 37 et 48 %. Les indicateurs technico-économiques sont régulièrement analysés et optimisés grâce au suivi de reproduction. En effet, ces élevages bénéficient de visites systématiques, effectuées toutes les 3 semaines par un vétérinaire dédié, en accord avec les éleveurs, afin de contrôler l'état de santé reproductive des vaches laitières.

Enfin, un critère déterminant dans ce choix était leur observance des consignes vétérinaires et leur expérience préalable de l'utilisation du C For UtéroPhyt, déjà administré ponctuellement dans le cadre du suivi, notamment en cas de métrite diagnostiquée. L'ensemble de ces caractéristiques garantissait un contexte favorable à la mise en place d'une étude expérimentale prospective, en assurant la fiabilité des données recueillies et la comparabilité des résultats entre élevages.

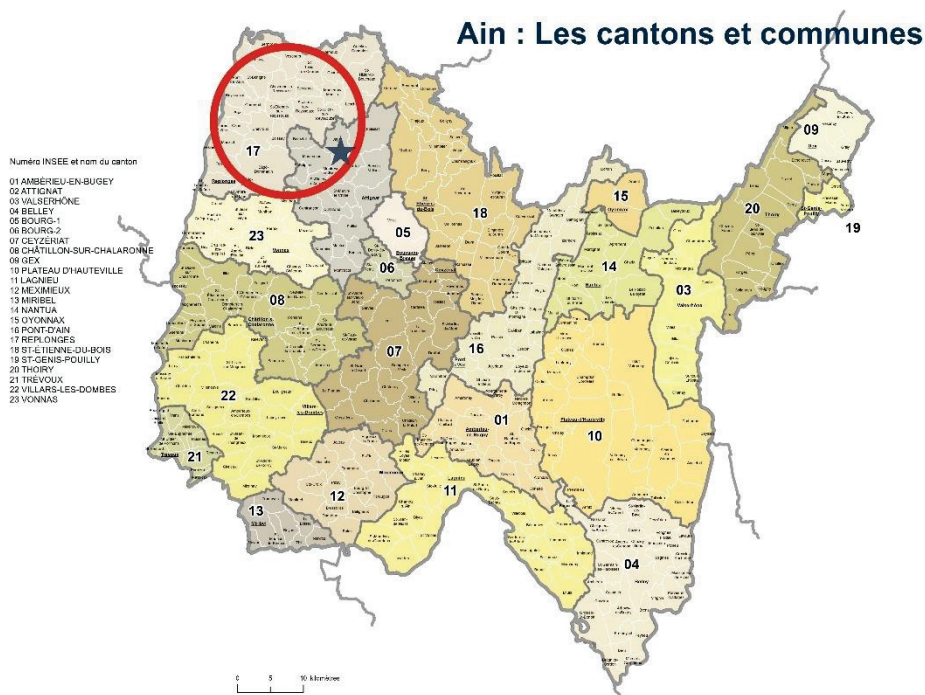


Figure 4 : Situation géographique des trois exploitations étudiées (Département de l'Ain, 2023)

Légende : Cercle rouge = périmètre de l'étude ; ★ = Clinique vétérinaire Optivet

2. Choix des animaux

L'objectif de l'étude était d'inclure un effectif total de 150 vaches laitières issues des trois exploitations sélectionnées, réparties de manière équilibrée entre un groupe traité (75 animaux) et un groupe non-traité (75 animaux). Dans le cadre de ce travail, le terme « traité » ne faisait pas référence à l'administration d'un médicament, mais désignait l'apport du bolus C for UtéroPhyt, selon le protocole expérimental décrit dans la partie Intervention (Partie 3. II.B.3). Le groupe « non traité » correspondait quant à lui au groupe témoin, ne recevant pas ce complément. Les vaches étaient exclusivement de race laitière, représentatives des cheptels étudiés, et appartenant à différents rangs de lactation. Ce choix visait à obtenir une population suffisamment diversifiée pour refléter la variabilité rencontrée en conditions de terrain, tout en fixant un effectif cible permettant d'obtenir des résultats statistiquement pertinents.

Les animaux inclus dans l'étude correspondaient à l'ensemble des vaches laitières issues des trois exploitations sélectionnées et se trouvant entre J0 et J21 post-partum au moment de la visite. L'objectif étant de décrire l'involution utérine et les paramètres métaboliques en conditions physiologiques, seules les vaches ne présentant pas d'affection post-partum ont été retenues. Ainsi, certaines situations ont conduit à exclure des animaux de l'étude, afin de limiter les biais liés à des atteintes physiopathologiques ou des complications susceptibles d'influencer directement l'évolution du post-partum. Ont été systématiquement exclues :

- les vaches ayant présenté un avortement ou une dystocie, nécessitant ou non une césarienne,
- les vaches atteintes d'une affection sévère survenue le jour du vêlage, telle que le prolapsus utérin, la mammite clinique, ou toute maladie systémique entraînant une altération majeure de l'état général.

B. Protocole expérimental

1. Approbation

Toutes les manipulations réalisées dans le cadre de cette étude ont fait l'objet d'une autorisation préalable (n°2511) délivrée par le Comité d'éthique Jacques Bonnod de VetAgro Sup n°18 pour les projets d'utilisation d'animaux à des fins scientifiques. L'ensemble des vaches ont été évaluées selon des procédures standard pour les examens cliniques et les prises de sang, tout en évitant ou en minimisant tout effet indésirable sur le bien-être animal.

2. Type d'étude

Le protocole a été conçu comme une étude traitée - non traitée, prospective et contrôlée, menée en conditions de terrain sur trois exploitations laitières. La durée totale de l'expérimentation était de 6 mois, ce qui correspondait à la période nécessaire pour atteindre l'effectif cible défini, tout en limitant les biais saisonniers liés aux variations alimentaires et climatiques.

Afin de limiter les biais liés à l'évaluateur, le protocole a intégré une procédure de simple aveugle. En effet, la répartition des animaux à l'un ou l'autre des groupes n'était pas communiquée au vétérinaire pendant les examens gynécologiques. Les numéros des vaches traitées étaient transmis uniquement à l'issue de chaque suivi de reproduction, assurant ainsi une évaluation objective indépendante de la connaissance du traitement reçu par l'animal.

3. Intervention

L'intervention étudiée consistait en l'administration orale d'un bolus de C For UtéroPhyt, délivré le jour du vêlage (J0). Celle-ci était réalisée par les éleveurs, à l'aide d'un lance-bolus, selon une posologie correspondant à un bolus unique par animal. La répartition des animaux entre le lot traité et le lot non traité n'a pas reposé sur une randomisation stricte par tirage au sort, mais sur une méthode pragmatique, adaptée aux conditions de terrain. Concrètement, environ une vache sur deux recevait le bolus, au fur et à mesure des vêlages successifs. Ce procédé permettait de constituer deux groupes comparables au sein de chaque exploitation, indépendamment du rang de lactation ou de la date de vêlage.

De plus, afin de garantir la traçabilité, les éleveurs notaient systématiquement le numéro de travail à quatre chiffres des vaches traitées. Cette procédure a permis d'éviter toute confusion entre animaux des deux groupes et de conserver un suivi rigoureux. Ainsi, les vaches ayant reçu le bolus constituaient le lot traité, tandis que celles n'ayant pas reçu de complément formaient le lot non traité.

4. Examen gynécologique

Le suivi de reproduction était programmé à intervalles d'environ 21 jours, conformément aux pratiques habituelles de l'éleveur et du vétérinaire, afin de garantir un suivi comparable à celui réalisé en routine. La contention des animaux se faisait systématiquement aux cornadis, afin d'assurer la sécurité du praticien et de réaliser un examen fiable. La liste des animaux à examiner était préalablement extraite sur l'application Venotis, qui constitue l'outil de gestion des visites de reproduction. Dans le cadre de l'étude, l'évaluation se concentrait exclusivement sur les animaux classés dans la catégorie des « fraîches vélées », correspondant aux vaches situées entre 1 et 21 jours post-partum.

Avant chaque examen, l'éleveur maintenait la queue de la vache sur le côté afin de faciliter l'accès à la vulve. Un lavage de cette dernière était ensuite réalisé à l'aide d'une brosse souple et d'une solution diluée d'Hibitane à 5% dans de l'eau. Cette étape avait pour objectif de limiter les contaminations ascendantes et de garantir des conditions d'hygiène optimales. Elle permettait également de maintenir le gant du vétérinaire propre lors de l'introduction, évitant ainsi que des souillures externes ne faussent l'évaluation de la glaire cervicale.

L'examen commençait par l'introduction d'une main gantée et lubrifiée à travers la vulve, permettant d'atteindre le col de l'utérus. L'ouverture cervicale (Dx) était alors évaluée et notée selon l'échelle décrite précédemment dans la partie 2 II.B.1, allant de D0 à D6. Parallèlement, un prélèvement de glaire cervicale et vaginale était effectué au niveau du col et du plancher du vagin. L'aspect de ces sécrétions (Gx) était également noté selon une gradation allant de G0 à G6 (cf partie 2 II.B.2).

En complément de l'analyse des glaires cervicales, l'examen visait également à identifier la présence éventuelle d'une infection utérine, caractérisée par un écoulement purulent. En cas de diagnostic de métrite, la classification adoptée correspondait à celle décrite dans la partie 1 IV.B.2, proposée par le Dr Bernard et basée sur la proportion de pus observée dans les sécrétions.

A la suite de l'exploration vaginale, la main gantée était introduite à travers le rectum afin d'évaluer la taille de l'utérus (Tx) par palpation transrectale, selon une échelle allant de T0 à T4 (cf partie 2 II.B.3). Cette étape complétait l'examen vaginal permettant d'aboutir au score d'involution utérine. Toutes les informations recueillies lors de l'examen : ouverture cervicale (Dx), aspect des glaires (Gx), taille de l'utérus (Tx) et présence éventuelle de métrite (Mx), étaient consignées dans la rubrique « remarque » du logiciel Venotis pour chaque vache examinée.

Dans un second temps, les données ainsi centralisées ont été extraites par élevage et transférées dans un tableau Excel. Chaque ligne du tableau correspondait à un animal et regroupait l'ensemble des notations cliniques, ainsi que l'information relative à l'administration ou non du complément alimentaire.

5. Prélèvements sanguins et analyses biochimiques

a. Méthode de prélèvement

Lors du suivi post-partum, des prélèvements sanguins ont été effectués à la veine coccygienne selon une technique standardisée, à l'aide d'une seringue de 5 mL équipée d'une aiguille de calibre 16G. Le sang était immédiatement transféré dans un tube hépariné au lithium d'une contenance de 1,3 mL, sur lequel le numéro de travail à 4 chiffres de la vache était inscrit au marqueur. Cette procédure permettait d'assurer une identification rigoureuse des échantillons et d'éviter toute erreur d'attribution ultérieure.

b. Dosage des béta-hydroxybutyrates

Le dosage des BHB a été réalisé directement au chevet de l'animal, à l'aide du lecteur portable Freestyle Optium Neo, selon les recommandations du fabricant. Le résultat, exprimé en mmol/L, était saisi immédiatement dans l'encadré BHB de l'application Venotis pour chaque vache.

c. Dosage du calcium

A la fin du suivi de reproduction, les échantillons sanguins étaient transportés à la clinique pour être conservés dans un réfrigérateur à une température contrôlée de +4°C. Les dosages de calcium étaient systématiquement réalisés dans un délai de 24 à 48 heures après le prélèvement, à la clinique, par une technicienne de laboratoire. Avant l'analyse, les échantillons étaient centrifugés à l'aide d'une microcentrifugeuse MiniSpin Eppendorf, réglée à 10 000 tours par minute pendant 60 secondes.

Pour le dosage du calcium total, 300 µL de plasma étaient transférés dans des cupules adaptées, puis analysés à l'aide d'un analyseur de biochimie liquide automatisé, le KBIO6 de Kitvia. Cet appareil fonctionne selon le principe de la spectrophotométrie, en mesurant l'absorbance de la réaction colorimétrique générée par la complexation du calcium plasmatique avec un réactif spécifique. Le résultat est exprimé en mg/L et reflète la concentration totale de calcium circulant.

En complément, lorsque le matériel était disponible, le calcium ionisé a été mesuré à l'aide de l'analyseur I-SMART 30 VET de Kitvia, permettant d'évaluer la fraction biologiquement active du calcium. Pour chaque échantillon, le tube hépariné était positionné sous l'aiguille d'aspiration automatique de l'appareil, qui prélevait une quantité standardisée de plasma restant (60 µL). Les résultats étaient exprimés en mmol/L.

L'ensemble des résultats a été consigné dans un tableur Google Sheets permettant la centralisation des données avant intégration dans le fichier Excel principal regroupant l'ensemble des données cliniques collectées au cours du suivi de reproduction.

C. Variables étudiées et analyse statistique

Les données recueillies au cours de l'étude ont été organisées en deux catégories :

➤ Variables à expliquer :

- Involution utérine :
 - Pour l'analyse descriptive : Les trois composantes du score d'involution (ouverture cervicale D, aspect des glaires G, taille utérine T) ont été décrites séparément, en tant que variables qualitatives ordinales. De plus, le score d'involution a été utilisé sous la forme d'une variable qualitative ordinale (classes S1 à S4), permettant de décrire la répartition des animaux dans des catégories cliniquement interprétables et de faciliter la comparaison visuelle entre groupes.
 - Pour l'analyse inférentielle et l'analyse de corrélation : Le total des points (somme D+G+T, compris entre 0 et 16) a été privilégié. Ce choix a été fait pour permettre une analyse plus sensible des différences entre groupes et pour éviter la perte d'information liée à la réduction en classes. Ce total a été traité comme une variable quantitative soit discrète soit continue en fonction de sa distribution qui sera déterminée dans la partie statistique descriptive ci-dessous (Partie 3. III.A.5.b).
- Infection utérine :
 - Pour l'analyse descriptive et l'analyse de corrélation : La classification complète (saine, M1 à M6) a été conservée et présentée comme une variable qualitative ordinale, permettant de décrire la répartition des animaux selon la sévérité de l'infection.
 - Pour l'analyse inférentielle : La variable a été regroupée en deux modalités (saine / infectée) ainsi qu'en infection légère (M1 à M3) et infection sévère (M4 à M6), permettant une approche binaire adaptée aux modèles logistiques et ainsi traitée comme une variable qualitative binaire.
- Paramètres métaboliques :
 - Concentration sanguine en BHB (mmol/L) : variable quantitative continue
 - Concentration plasmatique en calcium total (mmol/L) : variable quantitative continue
 - Concentration plasmatique en calcium ionisé (mmol/L) : variable quantitative continue, avec certaines données manquantes notées NA (not available)

➤ Variables explicatives :

- Traitement (UTP) : administration ou non du bolus C for UtéroPhyt : variable qualitative binaire : oui / non
- Élevage (A, B, C) : variable qualitative nominale, considérée comme facteur aléatoire
- Rang de lactation (RL) : variable quantitative discrète
- Jours post-partum (JPP) : variable quantitative continue, considérée comme covariable linéaire, reflétant le stade physiologique au moment de l'examen
- Race : variable qualitative nominale

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2024) via l'interface R Studio, et le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. Dans un premier temps, une analyse descriptive a été réalisée pour l'ensemble des variables. Puis, une seconde partie a été consacrée aux analyses inférentielles afin d'évaluer l'effet du complément alimentaire sur les différents paramètres cliniques et biologiques étudiés :

- Un modèle linéaire mixte a été utilisé pour le score total d'involution (0 à 16) et les paramètres métaboliques (BHB, calcium total, calcium ionisé). Le traitement a été inclus comme facteur fixe principal, les JPP et le RL comme covariables, et l'élevage comme facteur aléatoire.
- Pour l'étude de l'incidence des infections utérines (saine / infectée ; infection légère / infection sévère), une régression logistique binaire a été employée, avec le traitement comme facteur fixe.

Enfin, des analyses de corrélation (Pearson ou Spearman en fonction des variables étudiées) ont été réalisées afin d'explorer les relations entre le score d'involution utérine, les paramètres métaboliques (BHB, calcium total, calcium ionisé), le rang de lactation et le grade de métrite. Ces analyses visaient à identifier d'éventuelles associations entre toutes ces variables.

III. Résultats

A. Analyses descriptives

1. Effectif

Au cours de l'étude, 15 animaux ont été exclus de l'étude. Les motifs d'exclusion étaient les suivants :

- Dystocie : 10 cas dont 6 dans l'élevage A, 2 dans l'élevage B et 2 dans l'élevage C
- Avortement : 3 cas dont 2 dans l'élevage A et 1 dans l'élevage B
- Prolapsus utérin : 1 cas dans l'élevage A
- Mammite clinique : 1 cas dans l'élevage A

Après exclusion, l'effectif total s'élevait à 178 animaux répartis dans les trois élevages étudiés. La population comprenait donc 78 vaches traitées avec le bolus C For UtéroPhyt et 100 vaches non traitées, l'objectif initial était donc atteint. La répartition des vaches traitées et non traitées selon les élevages est présentée dans la Figure 5 ci-dessous.

L'élevage C représente la population la plus importante, regroupant près de la moitié des animaux de l'étude, tandis que l'élevage B présente un effectif plus réduit. Ce déséquilibre reflète la taille des cheptels dans chacune des exploitations et le nombre de vêlage enregistrés durant la période de l'étude.

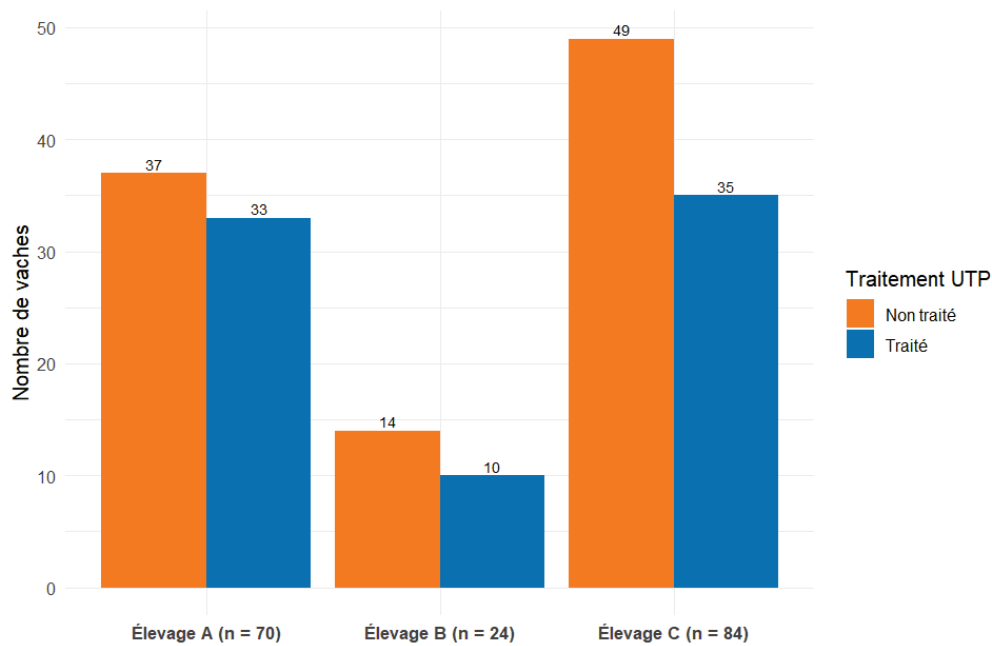


Figure 5 : Répartition des vaches traitées et non traitées dans les trois élevages (A, B, C)

2. Race

La population étudiée était composée de deux races laitières : Prim'Holstein et Montbéliarde. La race Montbéliarde était la plus représentée, avec 109 vaches (61,2 %), tandis que la race Prim'Holstein comptait 69 vaches (38,8 %). La répartition raciale variait selon les élevages. L'élevage A était constitué quasi-exclusivement de vaches Prim'Holstein, à l'exception d'une seule Montbéliarde. En revanche, les élevages B et C étaient composés uniquement de vaches Montbéliardes.

3. Rang de lactation

Afin de faciliter la comparaison entre les élevages, les résultats ont été exprimés en pourcentage du nombre total de vaches par groupe (traitées ou non traitées) dans chaque élevage, ainsi que pour l'ensemble des animaux (population). Ainsi, chaque barre du graphique (Figure 6) représente la proportion de vaches appartenant à un rang de lactation donné, rapportée à l'effectif total du groupe correspondant.

La répartition met en évidence que, dans l'ensemble des élevages, la majorité des vaches se situent en première et deuxième lactation, aussi bien dans les lots traités que non traités. Les effectifs diminuent progressivement avec l'augmentation du rang, traduisant une proportion plus faible de vaches multipares de rang élevé. L'analyse de la population montre qu'environ deux tiers des vaches appartiennent aux deux premiers rangs de lactation, tandis que les rangs supérieurs restent minoritaires. Par ailleurs, aucune vache non traitée n'appartient aux rangs 6 et 7 dans les trois élevages, alors que ces rangs sont représentés, bien que faiblement, dans les groupes traités. Cette observation traduit une légère différence de parité entre les groupes, le lot traité comporte ainsi davantage de vaches à rang de lactation élevé. Cette différence reste modérée mais doit être prise en compte dans l'interprétation des résultats.

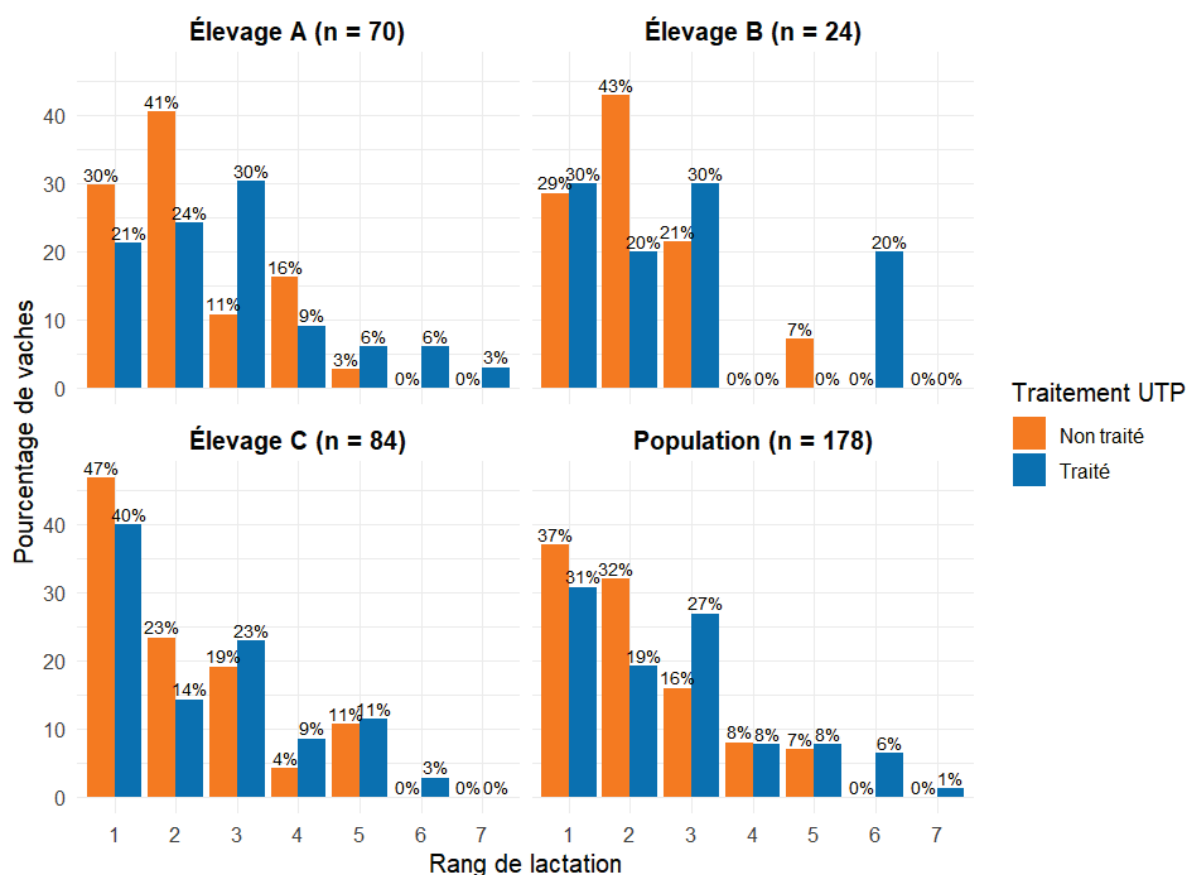


Figure 6 : Répartition des vaches traitées et non traitées selon le RL par élevage et dans la population

L'analyse de la distribution par boxplots (Figure 7) montre que la médiane du rang de lactation est de 2 pour l'analyse globale de l'ensemble des élevages (population), traduisant une forte représentation des primipares et des secondes lactations. Les boîtes sont relativement resserrées, indiquant une dispersion limitée autour de la médiane. Quelques valeurs atypiques apparaissent dans les rangs supérieurs (jusqu'à 7), mais elles restent minoritaires et n'influencent pas la tendance centrale. La comparaison entre vaches traitées et non traitées ne relève pas de différence notable dans la distribution des rangs de lactation. En effet, les deux groupes présentent des profils similaires dans chaque élevage comme dans la population globale.

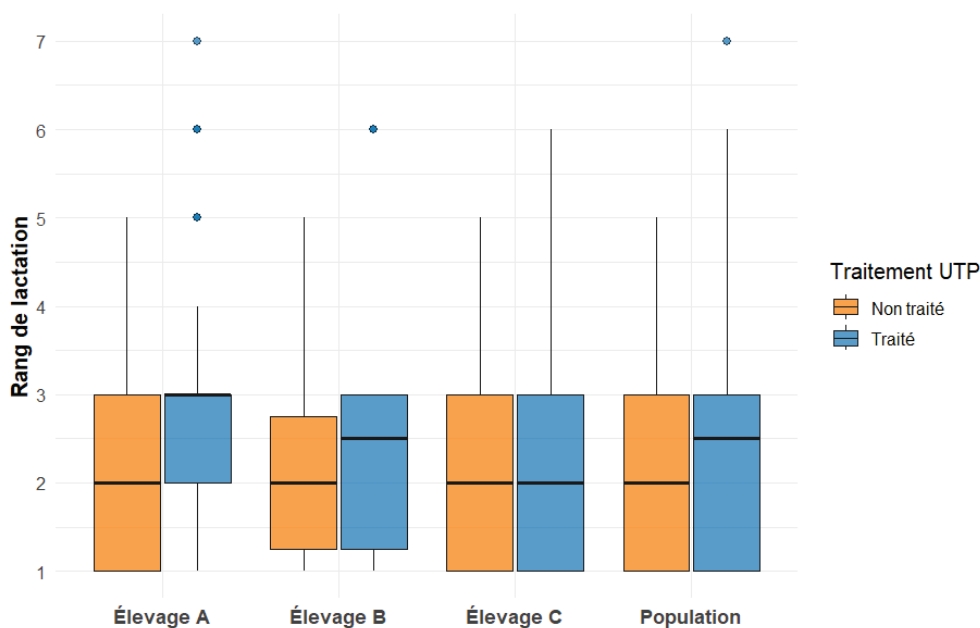


Figure 7 : Distribution du rang de lactation en fonction du traitement par élevage et dans la population

4. Jours post-partum

Dans chacun des élevages, les distributions des jours post-partum apparaissent relativement homogènes entre les vaches traitées et non traitées (Figure 8). Les médianes sont proches, et les intervalles interquartiles se chevauchent largement, ce qui suggère une comparabilité des groupes au sein de chaque élevage. Au niveau de la population, la médiane est de 8 jours pour les vaches non traitées et de 9 jours pour les vaches traitées. Les quartiles sont très proches : Q1 = 5 et Q3 = 13 jours pour les non traitées ; Q1 = 5,25 et Q3 = 14 jours pour les traitées. Les valeurs extrêmes s'étendent de 1 à 21 jours pour les vaches non traitées et de 1 à 20 pour les vaches traitées. Ces résultats indiquent que la répartition des jours post-partum est globalement similaire entre les groupes, sans biais majeur lié à l'élevage ou au statut du traitement.

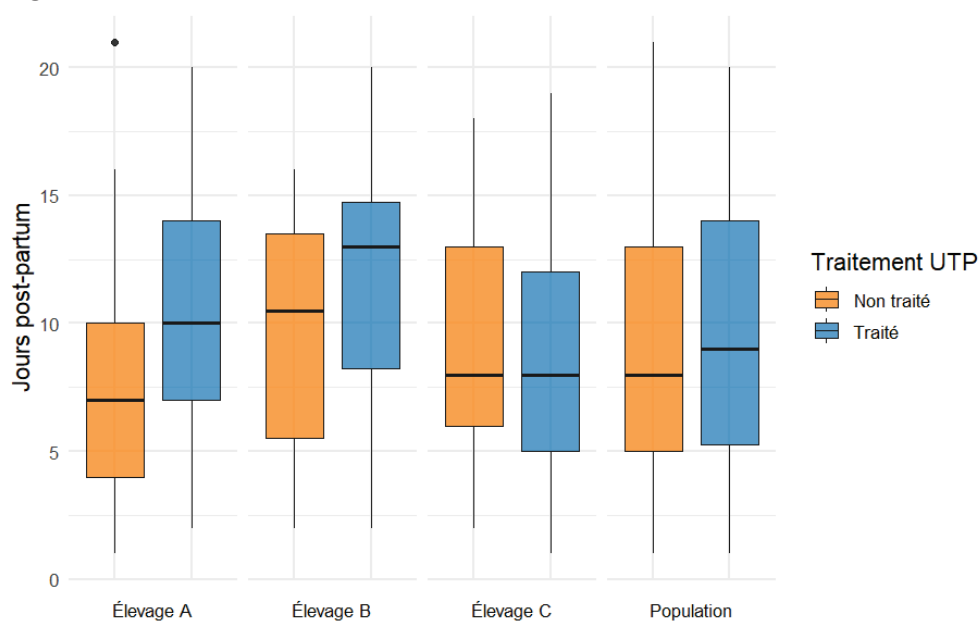


Figure 8 : Distribution des jours post-partum en fonction du traitement par élevage et dans la population

5. Involution utérine

a. Paramètres D, G, T et S

L'évolution des paramètres d'involution utérine a été analysée en fonction des jours post-partum, selon le statut du traitement, et présentée sous forme de quatre graphiques à la page suivante (Figure 9). Pour chaque graphique, deux courbes de tendance ont été modélisées à l'aide d'un lissage non linéaire, l'une pour les vaches traitées (courbe bleue), l'autre pour les vaches non traitées (courbe orange). Les points individuels, correspondant aux observations réalisées sur chaque paramètre au cours du suivi, sont représentés en arrière-plan.

Globalement, les différents scores tendent à diminuer au cours des jours post-partum, traduisant une fermeture du col, une réduction des sécrétions cervicales, une régression de la taille utérine et une progression du processus d'involution.

- Ouverture du col utérin (D) : Les deux groupes présentent une diminution progressive de l'ouverture du col au fil des jours post-partum. Chez les vaches traitées, l'involution cervicale semble plus rapide durant les premiers jours post-partum (avant 3 jours) et au-delà de 15 jours, avec des scores moyens inférieurs à ceux des non traités.
- Aspect des glaires cervico-vaginales (G) : Les courbes des scores de glaire montrent une divergence progressive entre les deux groupes. Les vaches ayant reçu le complément alimentaire présentent plus fréquemment des sécrétions de couleur claire, tandis que les animaux non traités sont proportionnellement plus nombreux à présenter des sécrétions de couleur foncée ou purulentes. Il est à noter que seules six vaches (quatre traitées et deux non traitées), ont présenté un score G6, correspondant à une rétention placentaire.
- Taille de l'utérus (T) : La taille utérine régresse progressivement dans les deux groupes, conformément au processus physiologique d'involution. Le profil des deux courbes est très similaire à celui observé pour l'ouverture du col, ce qui traduit la synchronisation entre la diminution de la taille de l'utérus et la fermeture cervicale. De plus, la pente décroissante est plus accentuée dans le groupe traité.
- Score de l'involution utérine (S) : Le score global, qui intègre les trois paramètres précédents, permet une lecture synthétique de la dynamique d'involution utérine. Les vaches traitées présentent une tendance légèrement plus favorable en fin de suivi, avec des scores plus bas que les non traitées. En effet, la décroissance est plus marquée et linéaire dans le groupe traité. Chez ces vaches, la majorité atteignent un score global inférieur ou égal à 2 avant le 20^{ème} jour post-partum, correspondant à une involution intermédiaire ou quasi-achevée. À l'inverse, dans le groupe non traité, le score reste globalement stable autour de 2,7, avec une dispersion plus importante des données, suggérant des involutions intermédiaires et parfois retardées.

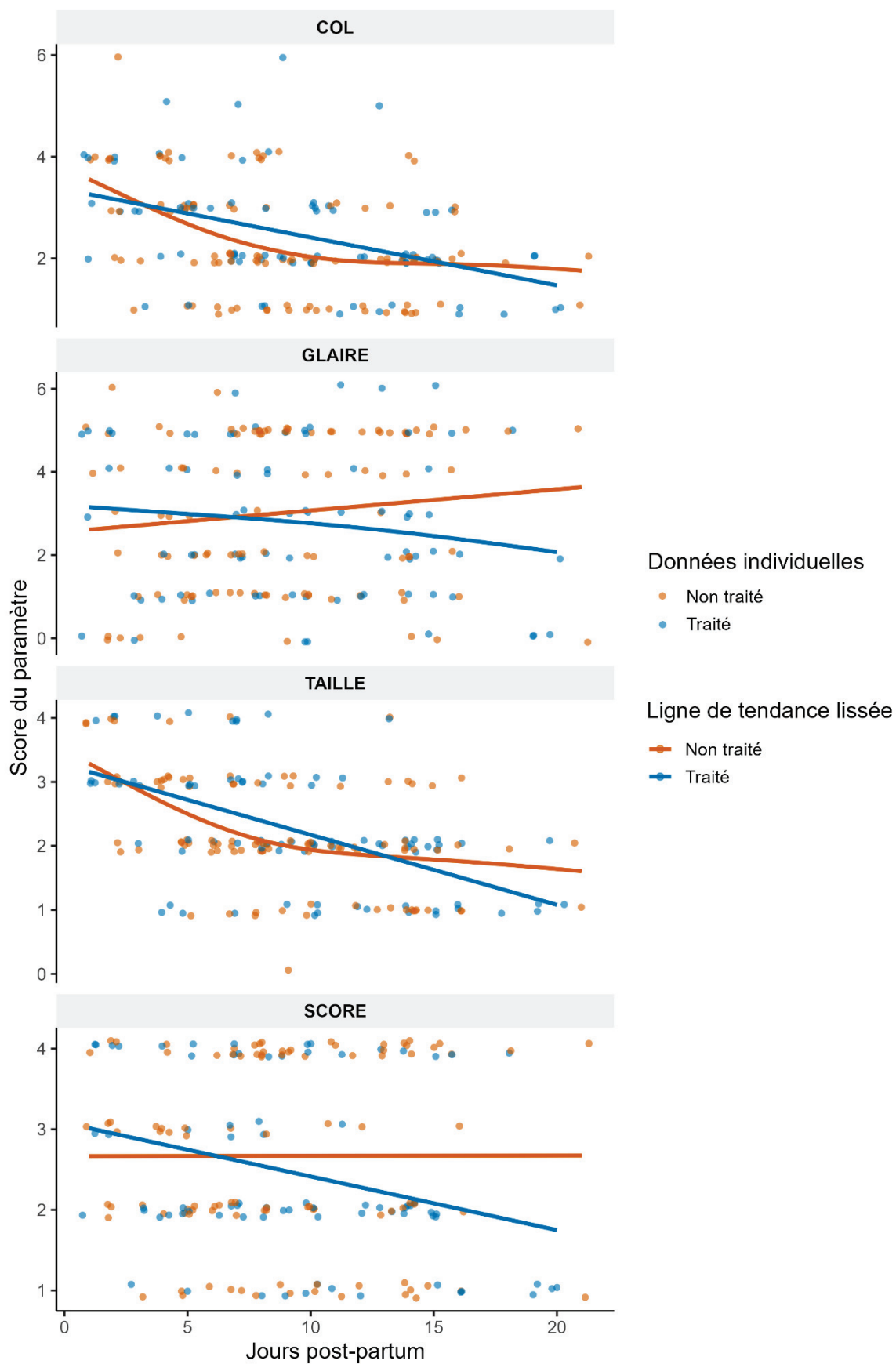


Figure 9 : Évolution des paramètres d'involution utérine (Col, Glaire, Taille, Score d'involution) en fonction des jours post-partum et selon le statut du traitement

b. Distribution score total d'involution utérine

Concernant l'involution utérine, un graphique supplémentaire (Figure 10) a été réalisé afin de décrire le score total d'involution, issu de la somme des trois notes partielles D+G+T, allant de 0 à 16. Ce graphique visait à explorer la distribution de cette variable et à évaluer la possibilité de la considérer comme quantitative continue, bien qu'elle soit initialement définie comme une variable quantitative discrète.

Afin de déterminer si le score total pouvait être traité comme une variable quantitative continue, une analyse de sa relation avec les jours post-partum a été réalisée. Une régression linéaire simple a montré une relation significative entre le score total et les JPP ($p < 0,001$), avec une pente négative ($\beta = -0,190$), traduisant une diminution régulière du score au fil du temps. Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,09$) indique que les jours post-partum expliquent environ 9% du score total. Cette valeur relativement faible suggère que, bien que la tendance générale soit significative, d'autres facteurs interviennent probablement dans l'évolution du score.

Ces résultats démontrent que le score total, bien que défini sur une échelle discrète de 0 à 16, présente une relation continue avec les jours post-partum. Sa distribution régulière et sa dynamique temporelle linéaire justifient son utilisation comme une variable quantitative continue dans les analyses ultérieures.

D'un point de vue biologique, la tendance observée traduit la régression progressive des paramètres d'involution utérine, en accord avec le processus physiologique attendu au cours des trois premières semaines post-partum.

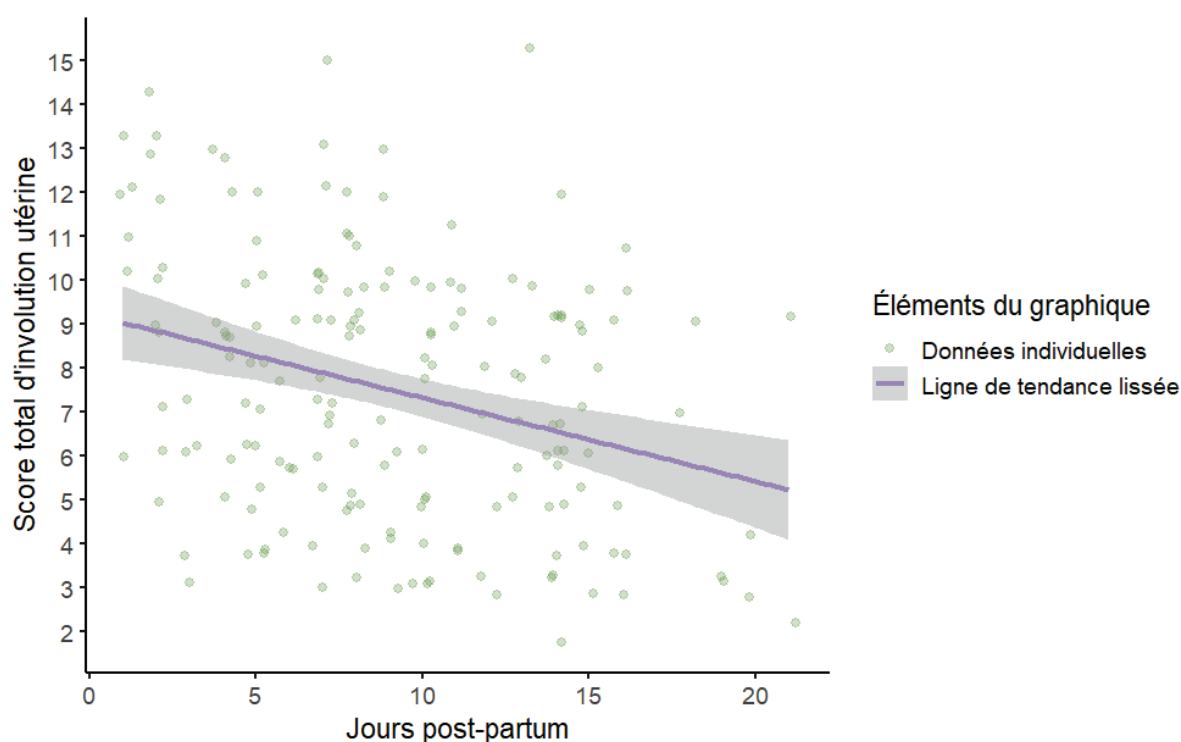


Figure 10 : Relation entre le score total d'involution utérine et les jours post-partum

6. Concentration en BHB

Le graphique ci-dessous (Figure 11) présente la distribution des concentrations sanguines en BHB, comparées entre les groupes traités et non traités pour les trois élevages ainsi que pour l'ensemble de la population étudiée. Le seuil de cétose subclinique (1,2 mmol/L) est représenté par la ligne rouge en pointillés. Dans l'ensemble, la majorité des valeurs observées se situe en dessous de ce seuil, indiquant une faible prévalence de la cétose au sein des animaux suivis.

Les distributions observées dans les trois élevages présentent des tendances similaires : les médianes sont inférieures au seuil de cétose et les concentrations restent généralement faibles. Cependant les groupes traités montrent souvent une variabilité plus importante, avec des intervalles interquartiles et des valeurs extrêmes plus étendus que ceux des groupes non traités.

A l'échelle de la population, ces tendances se confirment : bien que les médianes des groupes traités et non traités soient proches, la dispersion des valeurs est plus marquée chez les vaches traitées. De plus, la proportion d'animaux présentant une concentration supérieure au seuil de 1,2 mmol/L est légèrement plus élevée chez les traitées que chez les non traitées, avec 7,7 % contre 5 % respectivement.

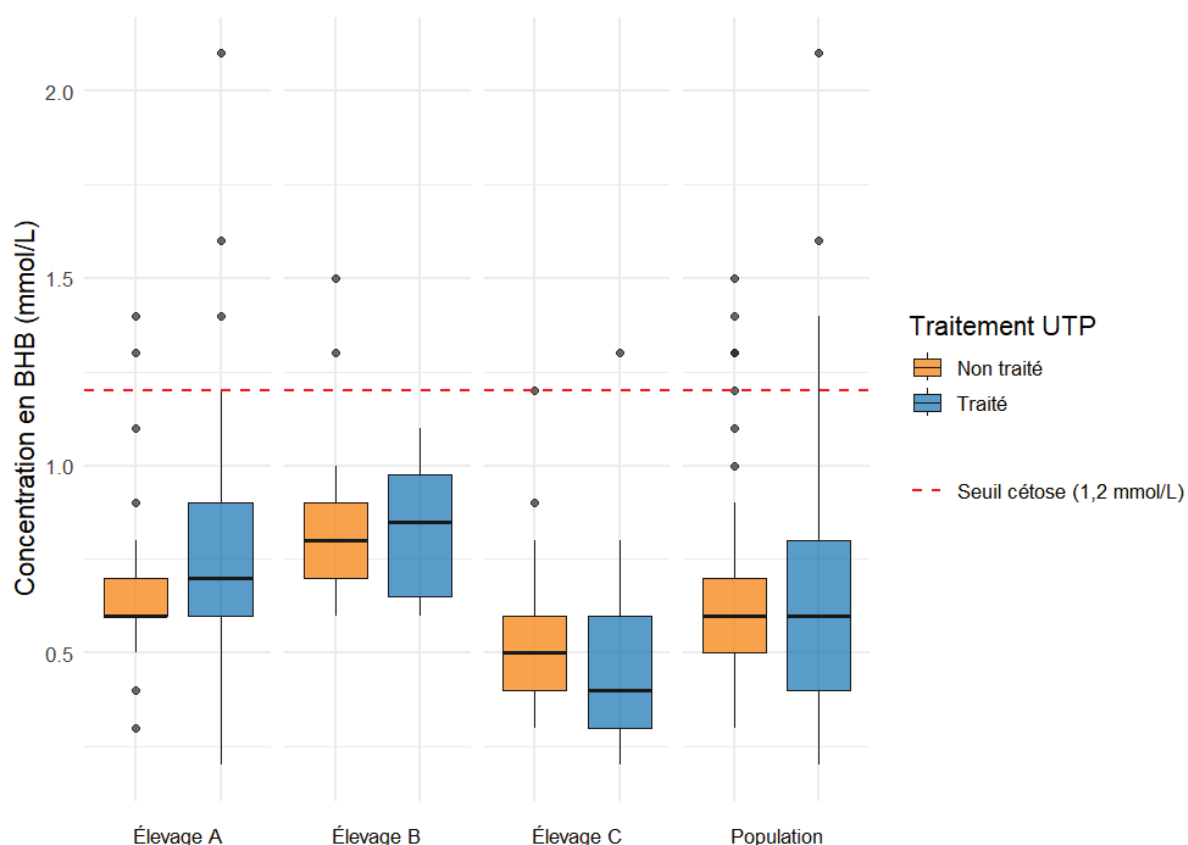


Figure 11 : Distribution de la concentration en BHB en fonction du traitement par élevage et dans la population

7. Concentration en calcium

a. Calcium total

La Figure 12 présente des boxplots illustrant la distribution des concentrations sanguines en calcium total, comparée entre les groupes traités et non traités, dans les trois élevages étudiés, ainsi qu'au niveau de la population globale. L'analyse des médianes et des étendues met en évidence des profils relativement similaires entre les trois élevages, et aucune différence marquée n'est observée : la variabilité inter-élevage est donc minime.

De plus, les distributions des valeurs apparaissent proches entre vaches traitées et non traitées, avec des médianes situées au-dessus du seuil d'hypocalcémie fixé à 2,0 mmol/L, représenté par la ligne rouge en pointillés. Toutefois, de manière constante, les médianes des vaches traitées sont légèrement inférieures à celles des vaches non traitées. A l'échelle de la population, la médiane est de 2,17 mmol/L chez les vaches non traitées contre 2,15 mmol/L chez les vaches traitées.

La dispersion des valeurs, mesurée par IQR, reste globalement modérée dans tous les groupes. Les moustaches révèlent toutefois quelques valeurs extrêmes, notamment dans l'élevage B, où la variabilité est plus marquée, en particulier chez les animaux non traités. De plus, à l'échelle de la population, 8% des vaches non traitées et 12,8% des vaches traitées présentent une calcémie inférieure au seuil.

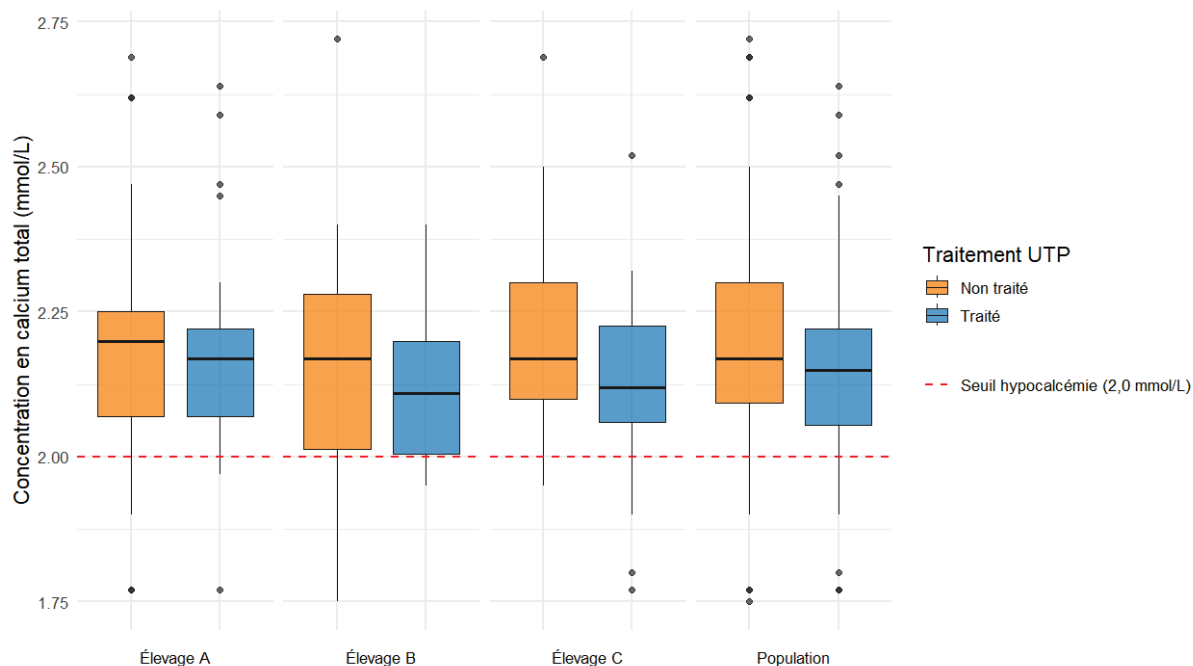


Figure 12 : Distribution de la concentration en tCa en fonction du traitement par élevage et dans la population

b. Calcium ionisé

Le graphique ci-dessous (Figure 13) montre la distribution de la concentration en calcium ionisé, comparée entre les groupes traités et non traités, dans les trois élevages étudiés, ainsi qu'au niveau de la population globale. La ligne rouge en pointillés indique le seuil d'hypocalcémie subclinique ou clinique fixé à 1,0 mmol/L pour le calcium ionisé. Les résultats portent sur 87 vaches pour lesquelles la concentration en calcium ionisé a pu être mesurée, le nombre important de valeurs manquantes (n = 91) étant principalement dû à l'indisponibilité ponctuelle de l'analyseur. Ces données manquantes ne sont pas réparties de manière homogène : l'élevage C présente une proportion plus élevée de valeurs manquantes, tandis que les élevages A et B sont moins concernés. De même, les premiers jours post-partum (de J1 à J5) sont davantage affectés par l'absence de données, limitant la représentativité de cette période dans l'analyse.

Contrairement à ce qui a été observé pour le calcium total, certaines médianes sont légèrement plus élevées chez les vaches traitées que chez les vaches non traitées. Cette tendance est notamment visible dans les élevages B et C, tandis que l'élevage A montre la tendance inverse. À l'échelle de la population, la médiane reste très proche entre les groupes, avec 1,06 mmol/L chez les traitées contre 1,07 mmol/L chez les non traitées, traduisant une différence minime. Les intervalles interquartiles sont plus resserrés chez les vaches traitées, traduisant une moindre dispersion des valeurs. Les proportions d'animaux en hypocalcémie varient selon les élevages, mais restent proches dans l'ensemble : 10 % chez les vaches non traitées et 11,5 % chez les vaches traitées à l'échelle de la population.

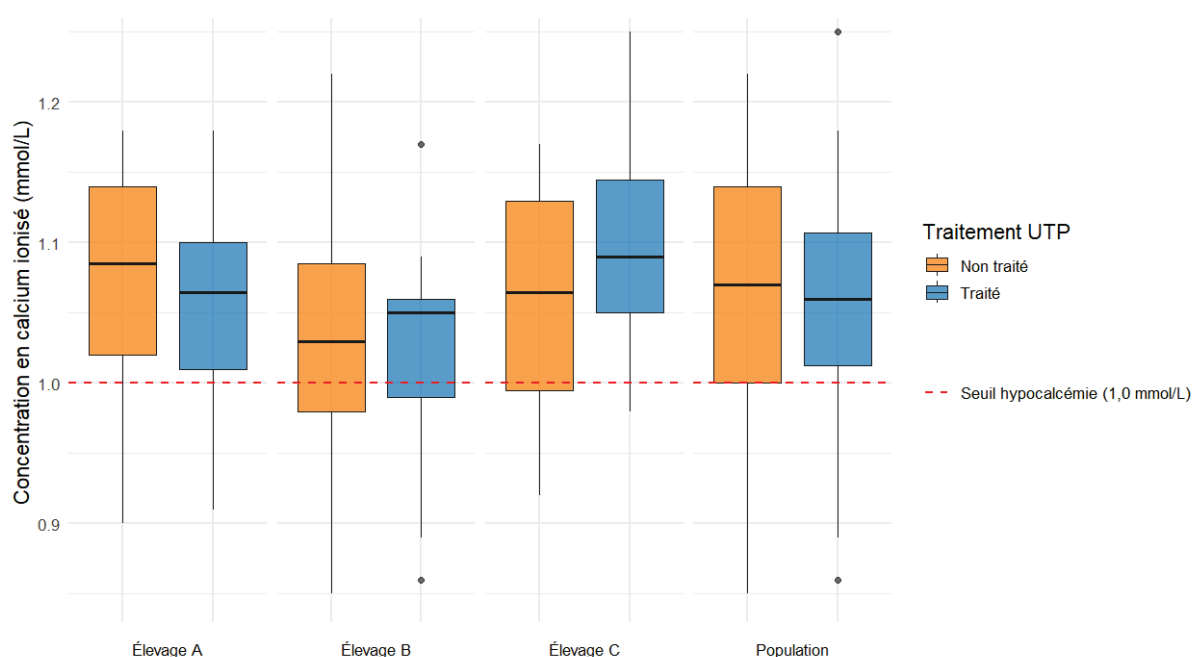


Figure 13 : Distribution de la concentration en iCa en fonction du traitement par élevage et dans la population

8. Infections utérines

Le graphique en barres empilées proportionnelles (Figure 14) illustre la répartition des grades de métrite dans la population globale. Chaque barre représente un groupe (non traité / traité), subdivisé en segments colorés correspondant aux niveaux d'infection (saine à M6). Une proportion légèrement plus élevée de vaches saines dans le groupe traité est observée par rapport au groupe non traité. Parmi ce dernier, 36 % des animaux présentaient une infection utérine contre 25,6 % dans le groupe traité.

La tendance générale montre une proportion plus importante de vaches saines chez les traitées (74 %) que chez les non traitées (64 %). Les grades d'infection légers (M1 à M3) sont peu représentés et répartis de manière similaire entre les deux groupes. Les grades M4 et M5, correspondant à des formes plus sévères, concernent principalement les vaches non traitées. A l'inverse, le grade M6 est observé chez une faible proportion d'animaux dans les deux groupes, légèrement plus fréquent chez les vaches traitées (5 %) que chez les non traitées (2 %).

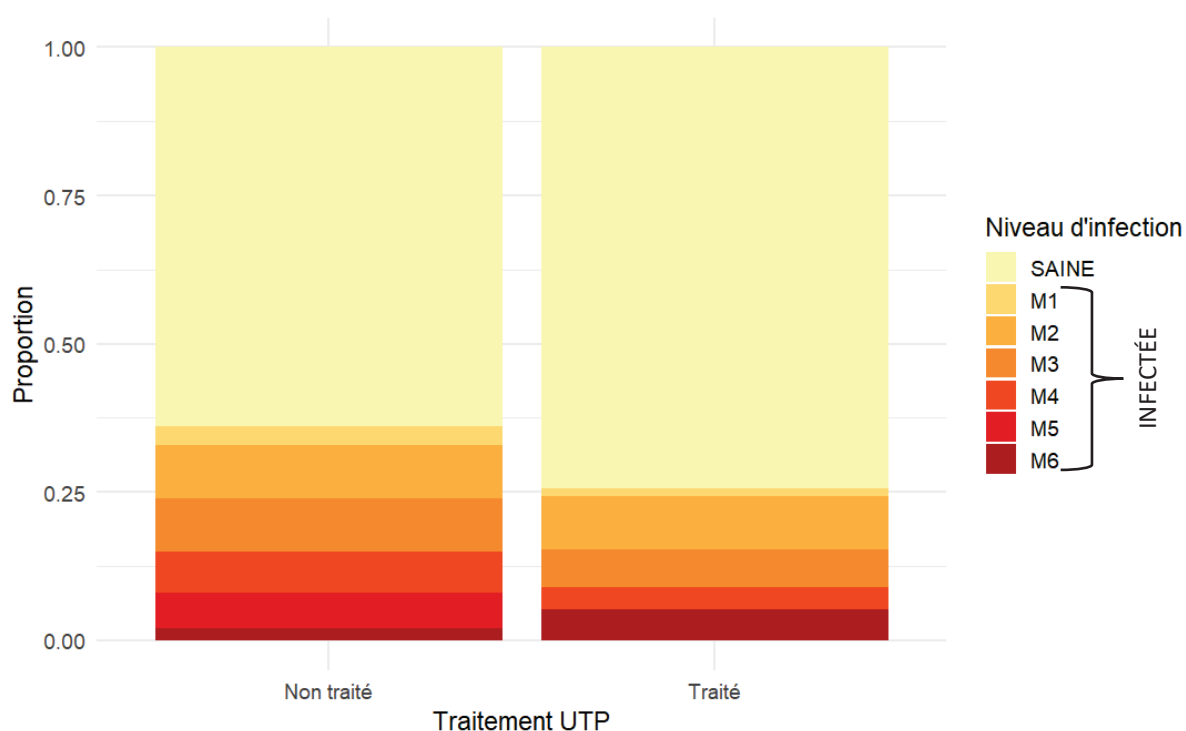


Figure 14 : Distribution du grade de métrite chez les vaches traitées et les vaches non traitées

B. Analyses de corrélation

Afin d'approfondir la compréhension des interactions entre les différents paramètres mesurés, des analyses de corrélation ont été réalisées sur l'ensemble de la population. Ces analyses visent à identifier les liens existants entre les différentes variables étudiées. Les corrélations ont été évaluées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson dans le cas des variables quantitatives continues, et du coefficient de Spearman dans le cas des variables quantitatives ordinales.

1. Corrélations à partir du calcium

a. Calcium ionisé x Calcium total

Une analyse de corrélation de Pearson a été réalisée afin d'évaluer la relation entre la concentration en calcium ionisé et la concentration en calcium total (Figure 15). Les résultats montrent une corrélation positive significative ($r = 0,275$; $p\text{-value} = 0,0099$). Cette association, bien que modérée, indique qu'une partie des variations du calcium total reflète effectivement celles du calcium ionisé.

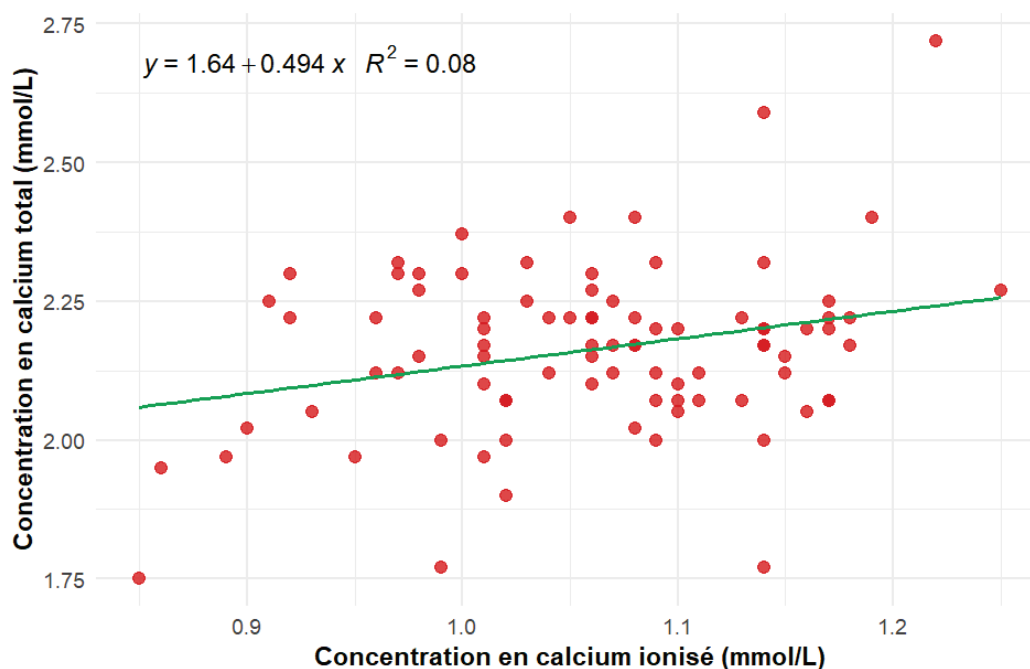


Figure 15 : Corrélation entre la concentration en calcium total et en calcium ionisé

b. Calcium total x rang de lactation

Une analyse de corrélation de Spearman a été réalisée afin d'évaluer la relation entre la concentration en calcium total et le rang de lactation chez les vaches en post-partum (Figure 16). Les résultats montrent une absence de corrélation entre les deux variables ($\rho = -0,03$; $p\text{-value} = 0,65$). Cette absence de corrélation suggère que le niveau de calcium total en post-partum n'est pas influencé de manière notable par le nombre de lactations.

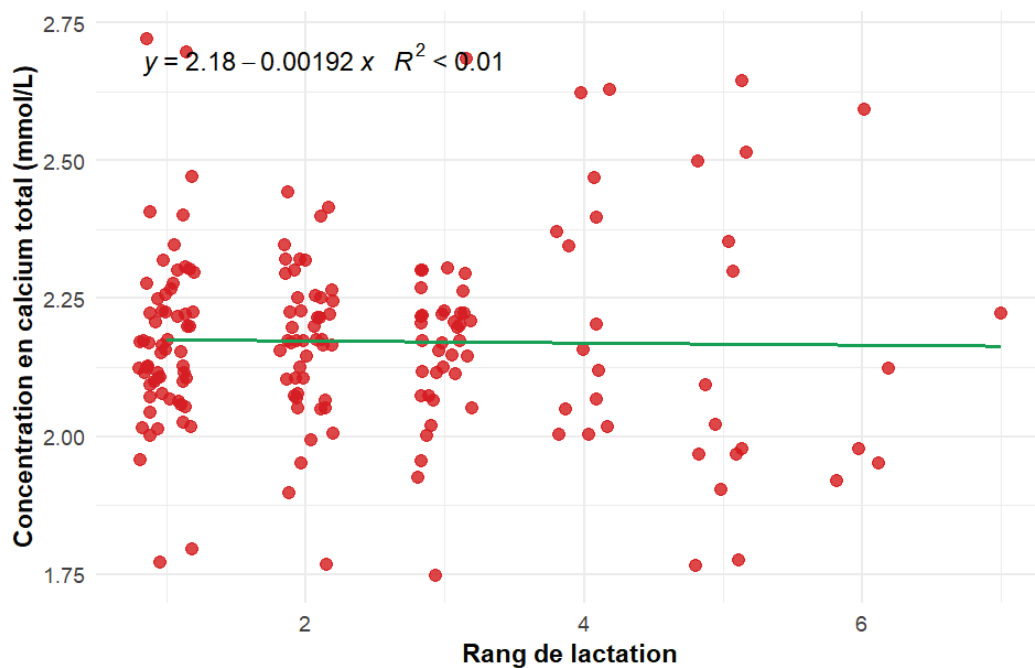


Figure 16 : Corrélation entre la concentration en calcium total et le rang de lactation

c. Calcium ionisé x rang de lactation

L'analyse de corrélation entre le calcium ionisé et le rang de lactation, grâce au test de Spearman, révèle une relation négative significative ($\rho = -0,25$; $p\text{-value} = 0,02$). Cette corrélation inverse traduit une tendance à la diminution du calcium ionisé avec l'augmentation du rang de lactation (Figure 17). Ce résultat contraste avec celui observé pour le calcium total, dont la corrélation avec le rang de lactation n'était pas significative.

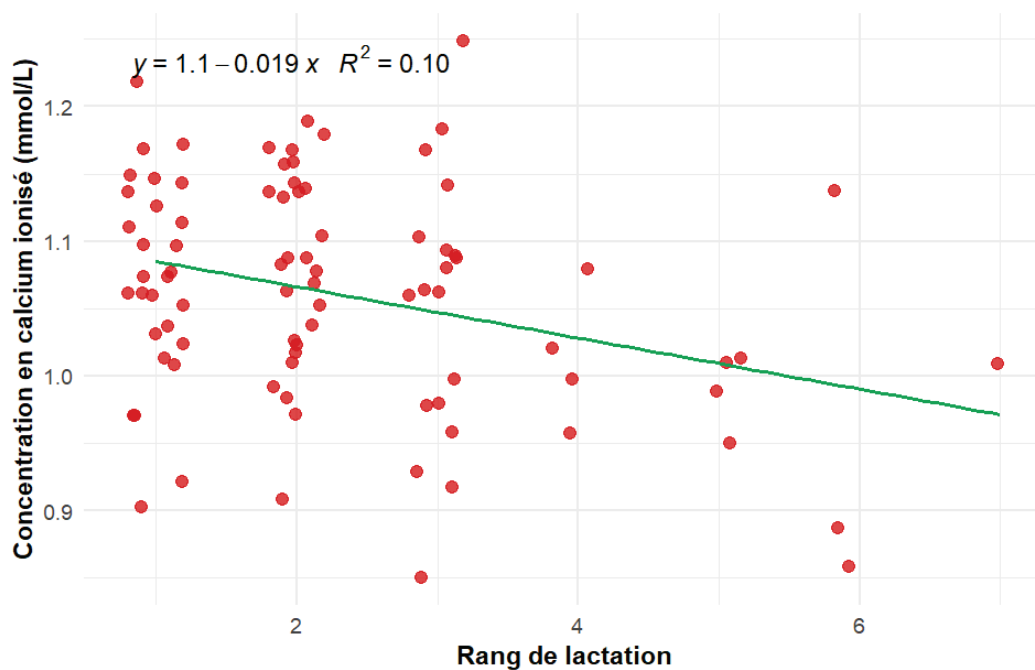


Figure 17 : Corrélation entre la concentration en calcium ionisé et le rang de lactation

d. Calcium total ou ionisé x Infection utérine

Les analyses de corrélation de Spearman entre les concentrations sanguines en calcium (total ou ionisé) et le score d'infection utérine n'ont mis en évidence aucune relation significative. Pour le calcium total (n = 178), la corrélation est très faible et non significative ($\rho = -0,02$; p-value = 0,82) (Figure 18). De même, aucune corrélation significative n'a été observée entre le calcium ionisé (n = 87) et le score d'infection utérine ($\rho = 0,06$; p-value = 0,58). Les coefficients de corrélation, très proches de zéro, indiquent une absence quasi-totale d'association entre le niveau de calcium et la sévérité des infections utérines observées dans la population étudiée.

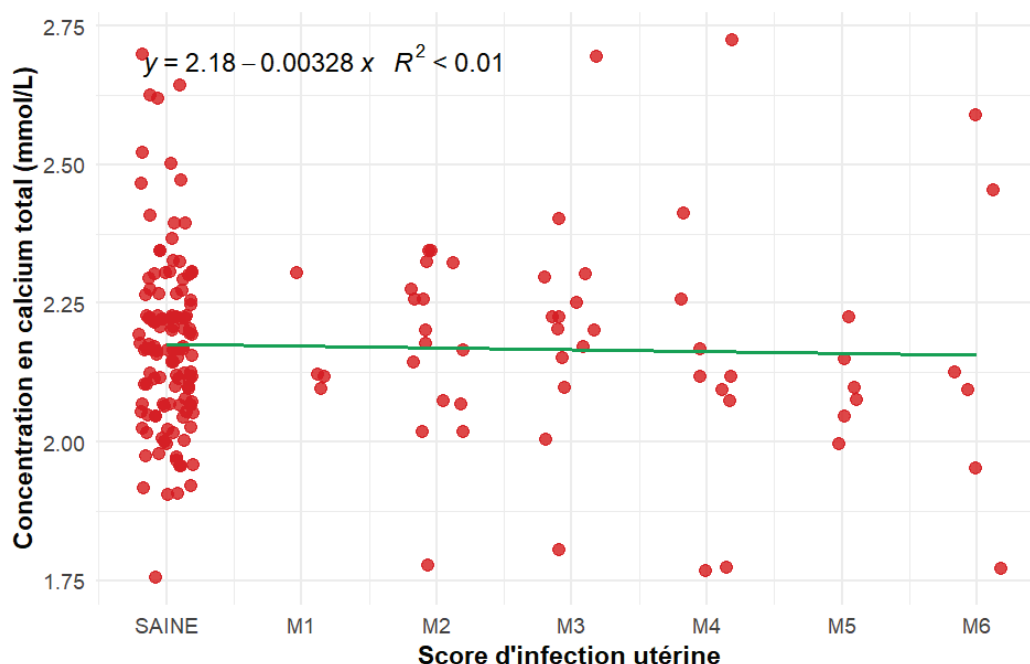


Figure 18 : Corrélation entre la concentration en calcium total et le score d'infection utérine

2. Corrélations à partir des BHB

a. BHB x Rang de lactation

La relation entre la concentration en BHB et le rang de lactation (Figure 19) a été évaluée à l'aide du test de corrélation de Spearman. L'analyse met en évidence une corrélation positive significative entre ces deux variables ($\rho = 0,224$; p-value = 0,0027). Cette corrélation, bien que modérée, indique que les vaches multipares tendent à présenter des concentrations plus élevées en BHB que les primipares.

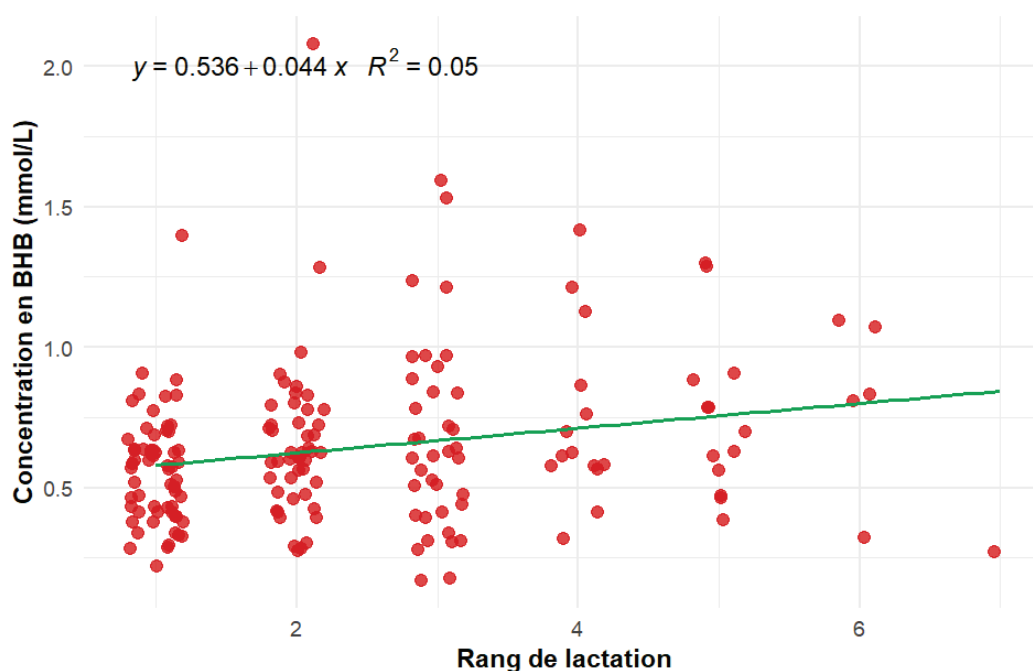


Figure 19 : Corrélation entre la concentration en beta-hydroxybutyrate et le rang de lactation

b. BHB x Infection utérine

L'analyse de corrélation entre les concentrations en BHB et le score d'infection utérine (Figure 20) a été réalisée à l'aide du test de Spearman. Les résultats ne mettent pas en évidence de corrélation significative entre ces deux variables ($\rho = 0,097$; $p\text{-value} = 0,196$). Cette absence de relation statistiquement significative suggère que, dans cette population, le niveau de BHB n'est pas directement lié à la sévérité de l'infection utérine.

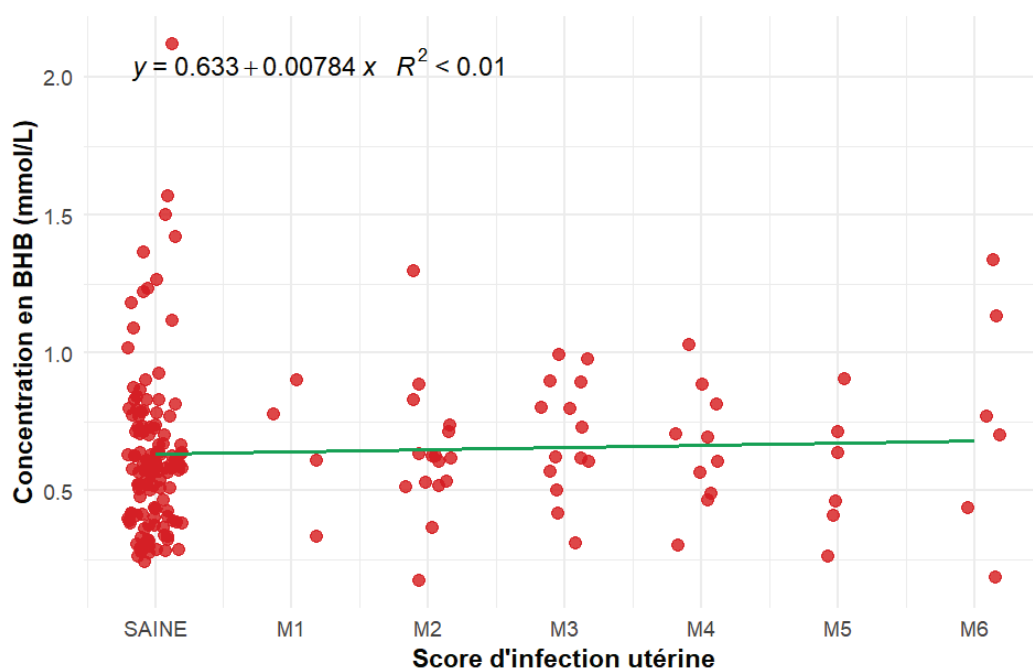


Figure 20 : Corrélation entre la concentration en beta-hydroxybutyrate et le score d'infection utérine

3. Corrélations à partir de l'involution utérine

a. Involution utérine x Calcium total

Une première analyse de corrélation a été réalisée entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium total. Sur l'ensemble de la population étudiée ($n = 178$), la corrélation de Spearman n'a pas mis en évidence de relation significative entre ces deux variables ($\rho = -0,070$; $p\text{-value} = 0,355$). Cependant, une analyse complémentaire a été conduite spécifiquement sur les vaches présentant une hypocalcémie ($tCa < 2,0$ mmol/L), afin d'explorer plus finement l'effet d'un déficit calcique marqué sur le processus d'involution (Figure 21). Sur ce groupe ($n = 18$), une corrélation négative significative a été observée entre le calcium total et le score total d'involution ($\rho = -0,479$; $p\text{-value} = 0,045$). Cette relation traduit une tendance selon laquelle une diminution du calcium sanguin est associée à une involution utérine plus lente ou incomplète.

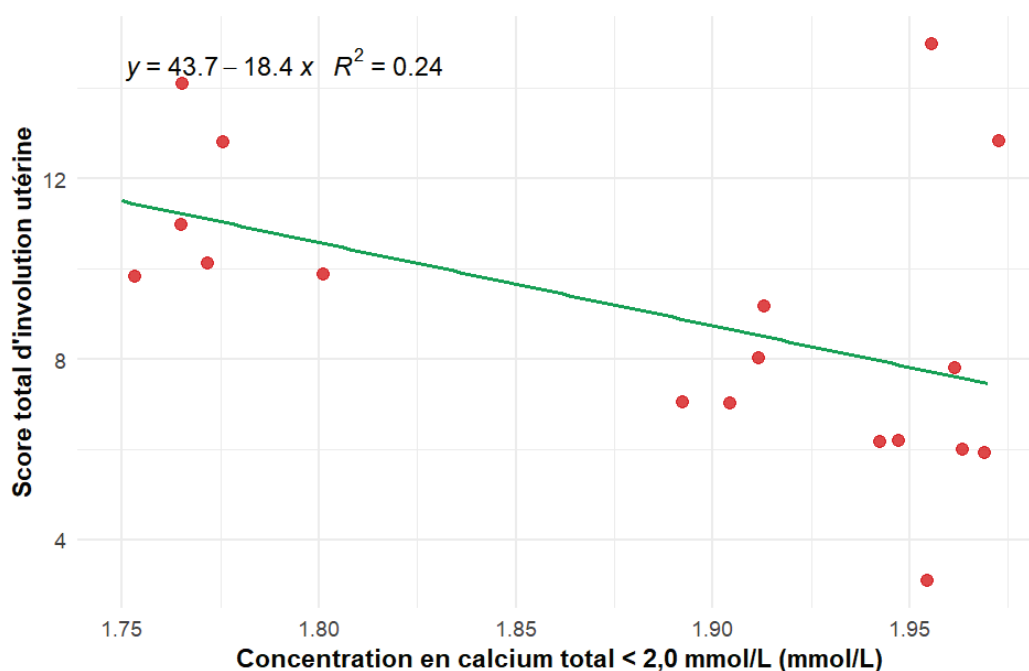


Figure 21 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium total < 2,0 mmol/L

b. Involution utérine x Calcium ionisé

Une seconde analyse a été menée afin d'examiner la relation entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium ionisé (Figure 22). Sur l'ensemble des vaches pour lesquelles cette donnée était disponible ($n = 87$), le test de corrélation de Spearman n'a pas mis en évidence de corrélation significative entre les deux variables ($\rho = -0,049$; $p\text{-value} = 0,652$). Une analyse complémentaire a ensuite été réalisée en restreignant l'échantillon aux vaches présentant une hypocalcémie ionisée ($iCa < 1,0$ mmol/L ; $n = 19$). Bien qu'une corrélation négative ait été observée ($\rho = -0,192$), celle-ci n'était pas significative ($p\text{-value} = 0,432$). Ces résultats indiquent que, contrairement au calcium total, la fraction ionisée du calcium ne montre pas de relation significative avec le score d'involution, même chez les animaux en hypocalcémie.

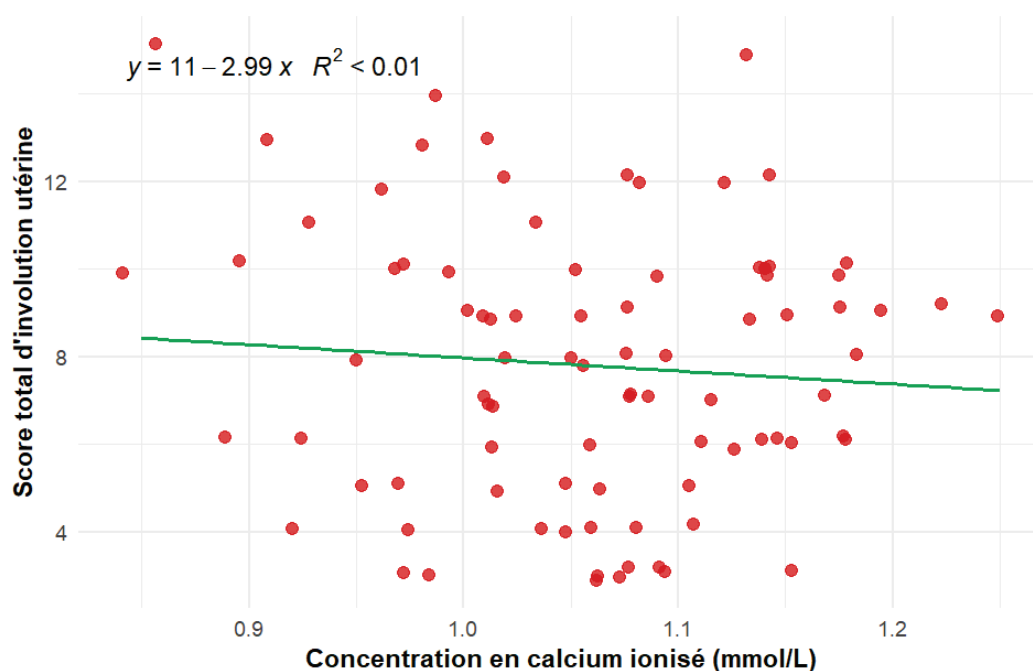


Figure 22 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en calcium ionisé

c. Involution utérine x BHB

Une analyse de corrélation de Spearman a été réalisée afin d'évaluer la relation entre le score total d'involution utérine et les concentrations sanguines en beta-hydroxybutyrate (Figure 23). Une corrélation positive faible a été observée ($\rho = 0,135$; $p\text{-value} = 0,073$), proche du seuil de significativité. Cette tendance suggère qu'une concentration plus élevée en BHB pourrait être associée à un score d'involution utérine légèrement supérieur, mais cette relation reste non significative et doit donc être interprétée avec prudence.

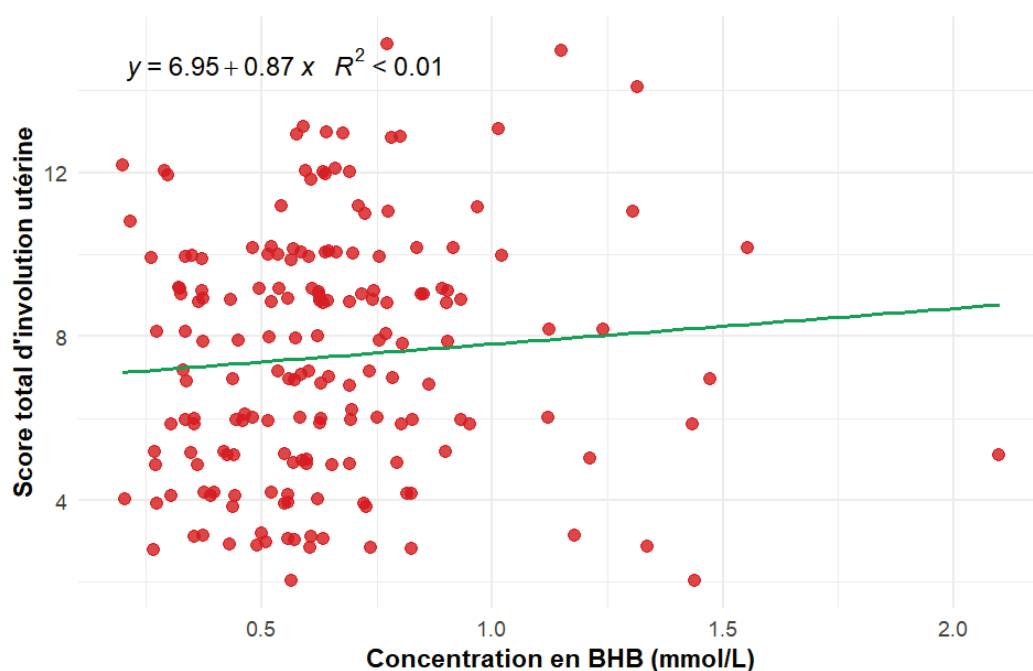


Figure 23 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et la concentration en beta-hydroxybutyrates

d. Involution utérine x infection utérine

La relation entre le score total d'involution utérine et le score d'infection utérine (Figure 24) a été explorée à l'aide d'un test de corrélation de Spearman, adapté aux variables ordinales. Les résultats mettent en évidence une corrélation positive forte et hautement significative entre les deux variables ($\rho = 0,67$; $p\text{-value} < 0,0001$). Cette corrélation indique que plus le score d'infection utérine augmente, plus le score total d'involution utérine est élevé.

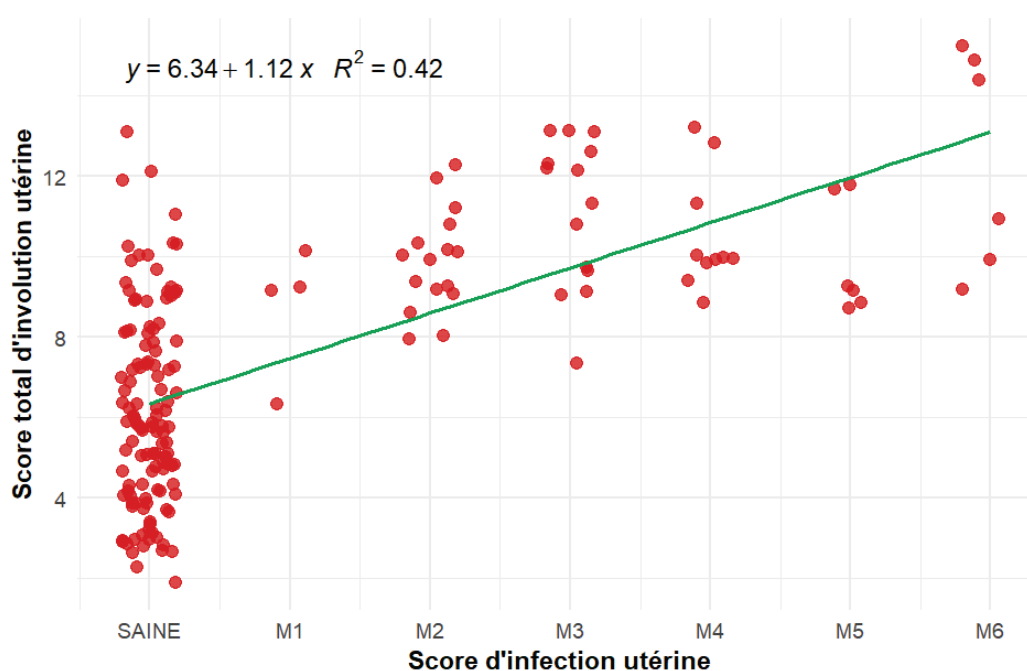


Figure 24 : Corrélation entre le score total d'involution utérine et le score d'infection utérine

Bilan des corrélations

Tableau III : Résumé de l'ensemble des corrélations entre les variables étudiées

Variables étudiées	Coefficient de corrélation	p-value	Interprétation
iCa x tCa	0,27	0,009	Significatif
tCa x RL	-0,03	0,65	Non significatif
iCa x RL	-0,25	0,02	Significatif
tCa ou iCa x infection	-0,02	0,82	Non significatif
BHB x RL	0,22	0,003	Significatif
BHB x infection	0,10	0,20	Non significatif
Involution utérine x tCa	-0,07	0,35	Non significatif
Involution utérine x tCa < 2,0 mmol/L	-0,48	0,04	Significatif
Involution utérine x iCa	-0,05	0,65	Non significatif
Involution utérine x BHB	0,135	0,07	Non significatif
Involution utérine x infection	0,67	< 0,0001	Significatif

C. Analyses inférentielles

Afin d'évaluer l'effet du complément alimentaire C for UtéroPhyt sur les différentes variables d'intérêts, des analyses statistiques inférentielles ont été réalisées. Ces analyses visent à déterminer si les différences observées entre le groupe traité et le groupe non traité sont statistiquement significatives.

1. Effet du complément UTP sur le score total d'involution utérine

L'évolution du score total d'involution utérine en fonction du nombre de jours post-partum a été étudié à l'aide d'un modèle linéaire mixte. Ce modèle intègre le traitement UTP et les jours post-partum comme effets fixes, tandis que l'élevage a été introduit comme effet aléatoire afin de tenir compte de la variabilité inter-élevage. L'effet de l'élevage sur le score moyen est modéré (variance inter-élevage = 0,55, soit un écart-type de 0,74), traduisant une certaine variabilité entre les exploitations sans qu'elle domine la variabilité globale du modèle.

Le premier modèle, construit sans interaction entre les variables, visait à évaluer séparément l'effet du traitement et celui du temps post-partum sur le score total. Concernant les effets fixes, le modèle met en évidence une diminution significative du score total d'involution utérine au fil des jours post-partum (Estimate = -0,19 ; p-value < 0,001). Ce résultat confirme la régression progressive de la taille et du contenu utérin au cours du temps, conformément à la dynamique physiologique normale de l'involution.

En revanche, aucun effet significatif du complément UTP n'a été mis en évidence (Estimate = -0,0001, p-value = 0,99). Les moyennes ajustées par le modèle confirment cette absence de différences : les vaches non traitées présentent un score moyen ajusté de $7,7 \pm 0,53$, et les vaches traitées un score identique de $7,7 \pm 0,55$. Ainsi, l'administration du bolus ne modifie pas de manière significative le niveau moyen du score total de l'involution utérine.

Une seconde analyse a été réalisée en introduisant une interaction entre le traitement et les jours post-partum, afin de vérifier si le traitement influençait la vitesse de diminution du score total au cours du temps. La comparaison des deux modèles (avec et sans interaction) met en évidence une tendance en faveur du modèle intégrant l'interaction (p-value = 0,06). Ce résultat, proche du seuil de significativité, suggère que le traitement pourrait exercer un effet sur la cinétique d'involution utérine, même si celui-ci reste modéré.

Le graphique ci-dessous (Figure 25) illustre ces observations. Dans les deux groupes, le score total décroît progressivement au fil des jours post-partum, témoignant du processus d'involution physiologique. Cependant, la pente de la courbe correspondant aux vaches traitées apparaît légèrement plus prononcée, traduisant une involution plus rapide. La tendance observée sur le graphique est cohérente avec les résultats du modèle mixte, qui mettent en évidence une involution légèrement plus rapide chez les vaches traitées, sans atteindre la significativité statistique stricte.

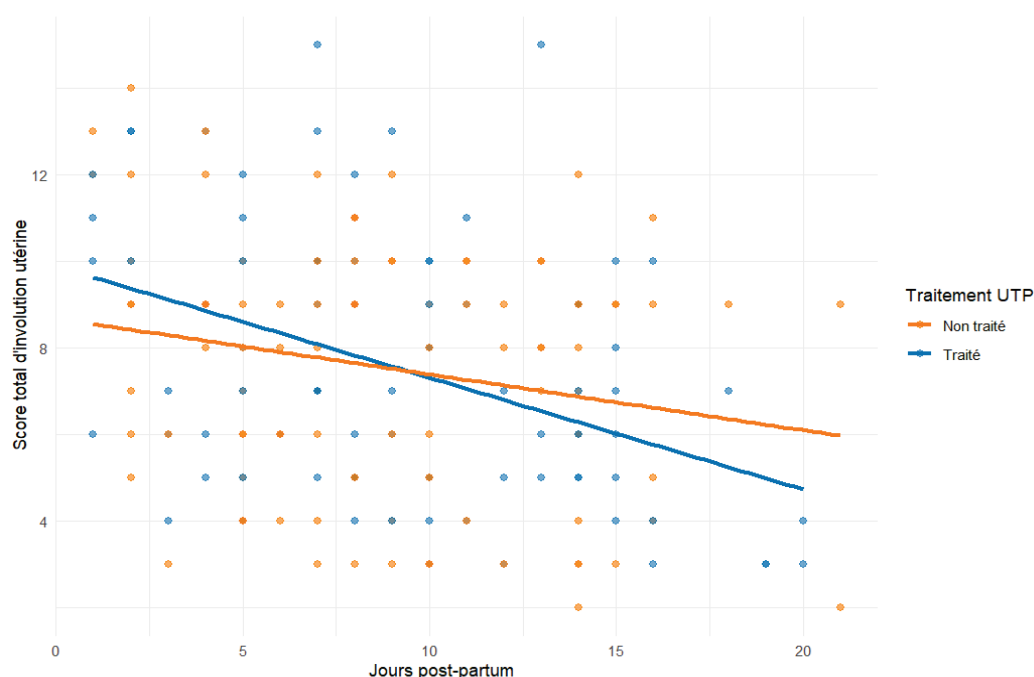


Figure 25 : Évolution du score total d'involution utérine en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées

2. Effet du complément UTP sur les BHB

L'évolution des concentrations sanguines en BHB en fonction des jours post-partum a été analysée à l'aide d'un modèle linéaire mixte. Comme pour le score d'involution utérine, le modèle inclut le traitement UTP et les JPP comme effets fixes, tandis que l'élevage a été introduit comme un effet aléatoire. Le premier visait à évaluer séparément l'effet du traitement et celui du temps post-partum sur la concentration sanguine en BHB. La variance inter-élevage est faible (0,0276, soit un écart-type de 0,17), ce qui indique une variabilité limitée des valeurs de BHB entre exploitations.

Concernant les effets fixes, le modèle ne met en évidence aucun effet significatif du traitement UTP sur les concentrations de BHB (Estimate = 0,02 ; p-value = 0,59) ni aucune évolution significative en fonction des jours post-partum (Estimate = 0,002 ; p-value = 0,54). Ces résultats indiquent que, dans la population étudiée, les concentrations sanguines de BHB restent relativement stables au cours des trois premières semaines post-partum, sans influence notable du traitement UTP.

Les moyennes ajustées calculées par le modèle confirment cette absence de différences : les vaches non traitées présentent une concentration moyenne de $0,68 \pm 0,10$ mmol/L, tandis que les vaches traitées affichent une valeur très proche, à $0,70 \pm 0,10$ mmol/L. Ces niveaux se situent bien en dessous du seuil classiquement admis pour la cétose subclinique, suggérant que la majorité des animaux inclus dans l'étude ne présentait pas de déséquilibre métabolique marqué au moment des prélèvements.

Le graphique ci-dessous (Figure 26) illustre ces tendances. Les deux droites de régression sont presque parallèles, traduisant une évolution très similaire entre les deux groupes. La dispersion des points reste modérée autour de 0,6 mmol/L au fil des jours post-partum. La superposition des deux droites confirme les résultats statistiques : le traitement UTP n'a pas entraîné de modification notable du profil des BHB, ni en termes de niveau moyen ni de dynamique temporelle.

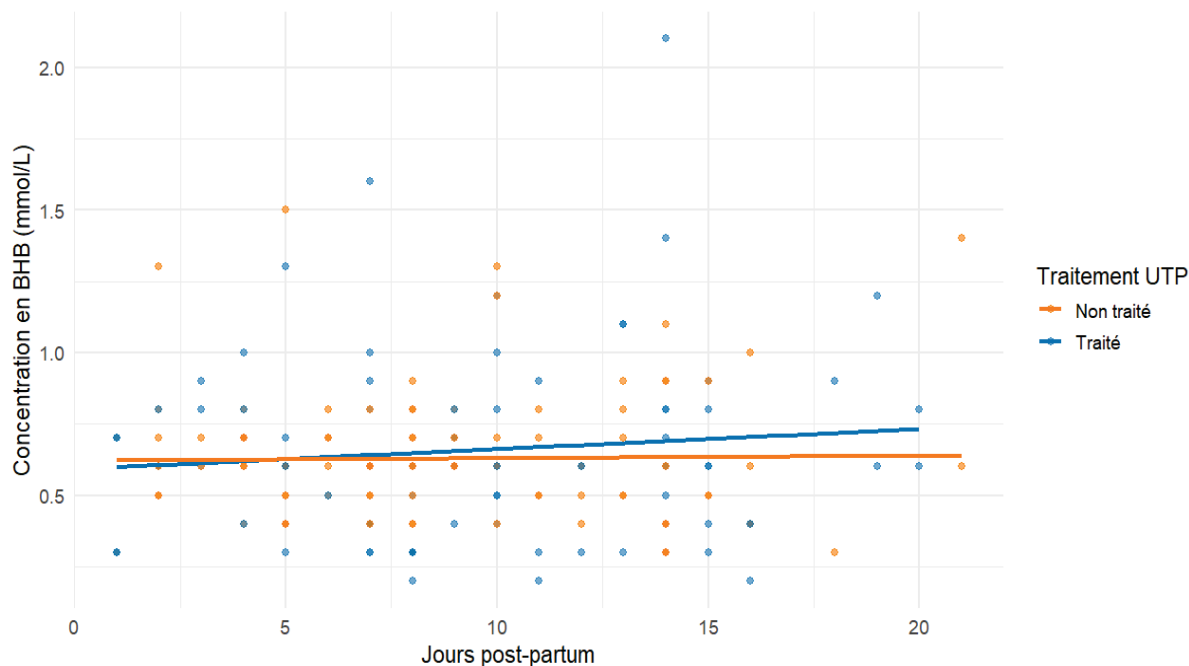


Figure 26 : Évolution de la concentration des beta-hydroxybutyrates en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées

3. Effet du complément UTP sur le calcium total

L'évolution des concentrations sanguines de calcium total en fonction des jours post-partum a été étudiée à l'aide d'un modèle linéaire simple, en intégrant le traitement UTP et les JPP comme effets fixes. Cette approche a été retenue en raison de l'absence de variabilité inter-élevage détectée dans le modèle mixte, rendant inutile l'introduction d'un effet aléatoire (élevage).

Concernant les effets fixes, le modèle met en évidence une augmentation significative des concentrations de calcium total au fil des jours post-partum (Estimate = 0,006 ; p-value = 0,04. En revanche, l'effet du traitement UTP sur le niveau moyen de calcium n'atteint pas le seuil de significativité (Estimate = -0,05 ; p-value = 0,07), bien qu'il montre une tendance à des concentrations plus faibles chez les vaches traitées. Des plus, les moyennes ajustées par le modèle confirment cette tendance : les vaches traitées présentent une concentration moyenne ajustée de $2,15 \pm 0,02$ mmol/L, contre $2,19 \pm 0,02$ mmol/L chez les vaches non traitées.

Le graphique ci-dessous (Figure 27) complète les résultats statistiques en offrant une visualisation claire de la tendance générale. Une légère augmentation du calcium au fil du temps, dans les deux groupes, est observée. La pente de la droite est légèrement plus marquée chez les vaches traitées, suggérant une possible influence du bolus sur la dynamique calcique. Toutefois, cette différence n'est pas statistiquement significative (p-value = 0,34), ce qui confirme que l'évolution du calcium est principalement liée au temps post-partum, indépendamment du traitement.

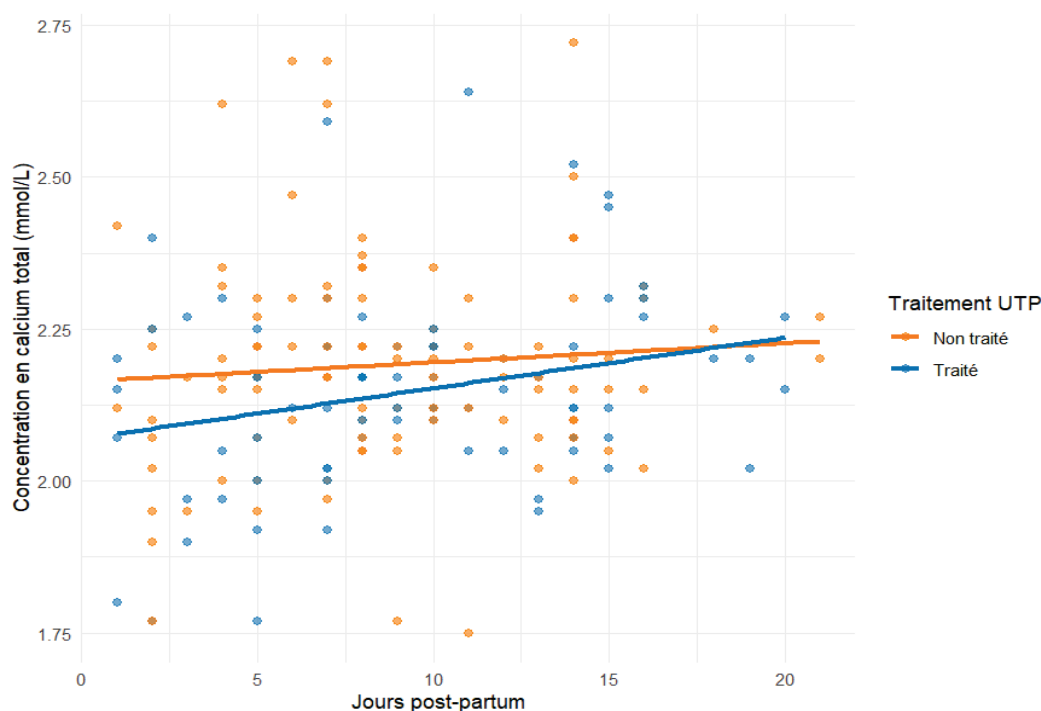


Figure 27 : Évolution de la concentration du calcium total en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées

4. Effet du complément UTP sur le calcium ionisé

L'évolution des concentrations sanguines en calcium ionisé en fonction des jours post-partum a été étudiée à l'aide d'un modèle linéaire mixte. Comme pour les analyses précédentes, le modèle intègre le traitement UTP et les JPP comme effets fixes, tandis que l'élevage est inclus en effet aléatoire. Le modèle visait à évaluer séparément l'effet du traitement et celui du temps post-partum sur la concentration en calcium ionisé. La variance inter-élevage est faible (0,0006, soit un écart-type de 0,02), indiquant une faible variabilité entre exploitations.

Concernant les effets fixes, la concentration moyenne de calcium ionisé augmente significativement avec les jours post-partum (Estimate = 0,006 ; p-value = 0,004). En revanche, le bolus UTP n'exerce aucun effet significatif sur les concentrations mesurées (Estimate = 0,004 ; p-value = 0,81). Les moyennes ajustées par le modèle confirment cette observation : les vaches traitées présentent une concentration moyenne de $1,05 \pm 0,02$ mmol/L, contre $1,06 \pm 0,02$ mmol/L pour les vaches non traitées. L'écart entre les deux groupes est très faible ($-0,004 \pm 0,02$ mmol/L ; p-value = 0,81), indiquant une absence de différences statistiquement significative entre les deux groupes.

Le graphique ci-dessous (Figure 28) représentant l'évolution du calcium ionisé en fonction des jours post-partum illustre bien ces résultats. Les deux droites de régression des deux groupes présentent une pente positive similaire, témoignant d'une légère augmentation des concentrations au fil des jours. La quasi-superposition des deux droites montre visuellement l'absence de différences entre les vaches traitées et les vaches non traitées. En effet, les trajectoires d'évolution sont parallèles, les valeurs des deux groupes se chevauchent sur l'ensemble de la période et aucune tendance divergente n'apparaît.

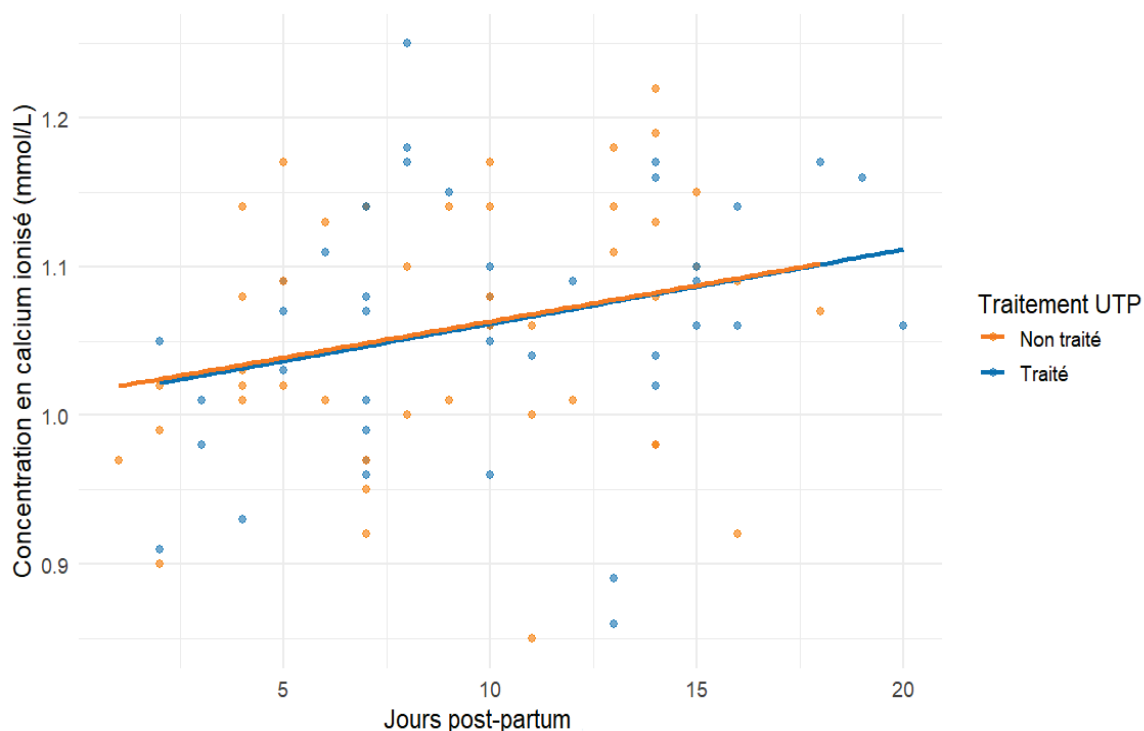


Figure 28 : Évolution de la concentration du calcium ionisé en fonction des jours post-partum chez les vaches traitées et non traitées

5. Effet du complément UTP sur les infections utérines

La variable était initialement catégorisée en 7 niveaux croissants de gravité : saine, M1 à M6. Afin d'évaluer l'effet du traitement UTP sur la présence d'une infection, une première analyse a été réalisée en regroupant les niveaux M1 à M6 sous une modalité unique « INFECTÉE », opposée à « SAINE ». Un modèle logistique binaire a été ajusté sur l'ensemble de la population ($n = 178$), avec l'infection comme variable dépendante et le traitement UTP comme facteur explicatif. Le modèle a révélé une probabilité d'infection utérine réduite de 39% chez les vaches traitées par rapport aux vaches non traitées ($OR = 0,61$; $IC95\% : 0,32 - 1,17$), bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,14$).

Dans un second temps, une analyse ciblée a été menée uniquement sur les vaches infectées ($n = 56$). Celles-ci ont été réparties en deux sous-groupes selon la gravité de l'infection : infection légère pour M1 à M3 et infection sévère pour M4 à M6. Un modèle logistique binaire a été ajusté pour tester l'effet du traitement UTP sur la gravité de l'infection. Les résultats ont montré une réduction de 25% du risque d'infection sévère chez les vaches traitées ($OR = 0,75$; $IC95\% : 0,23 - 2,31$) mais cette différence n'était pas statistiquement significative ($p\text{-value} = 0,62$). L'intervalle de confiance large témoigne d'une incertitude importante, probablement liée à la taille réduite de l'échantillon.

6. Modèle linéaire mixte prenant en compte toutes les variables

Pour finir, le modèle linéaire mixte ajusté prenant en compte l'ensemble des variables, avait pour objectif d'évaluer l'effet du traitement UTP sur le score d'involution utérine, tout en contrôlant les effets de confusion potentiels liés au rang de lactation, aux jours post-partum, aux marqueurs métaboliques (BHB et calcium total), ainsi qu'au grade de métrite. Un effet aléatoire a été inclus pour tenir compte de la variabilité des données entre les élevages. Ce dernier présente une variance modérée (écart-type = 0,38), indiquant une certaine variabilité inter-élevage dans les scores d'involution, ce qui justifie son inclusion dans le modèle.

Les résultats montrent que le traitement UTP n'a pas d'effet significatif sur le score d'involution utérine (Estimate = 0,33 ; p-value = 0,285). Autrement dit, les vaches traitées par le bolus ne présentent pas de score significativement différent de celui des vaches non traitées, une fois les autres facteurs pris en compte. Concernant les autres variables, le score d'involution utérine diminue significativement avec l'avancée des jours post-partum. Le rang de lactation est significativement associé à une involution plus lente. De plus, l'infection utérine est le facteur le plus fortement associé à une involution utérine altérée. En revanche, aucun effet significatif n'a été observé pour les BHB, ni pour le calcium total.

En conclusion, ce modèle met en évidence que l'involution utérine est principalement influencée par les jours post-partum, le rang de lactation et les infections utérines. À l'inverse, le traitement UTP ne montre pas d'effet significatif sur l'involution utérine, une fois ces facteurs pris en compte.

Tableau IV : Récapitulatif des résultats statistiques pour le modèle linéaire mixte intégrant toutes les variables

Variable	Estimate	p-value	Interprétation
(Intercept)	11,10	< 0,001	
Traitement UTP	+0,33	0,28	Non significatif
Rang de lactation	+0,27	0,02	Significatif
Jours post-partum	-0,21	< 0,001	Significatif
BHB	+0,05	0,94	Non significatif
Calcium total	+0,007	0,99	Non significatif
Infection utérine	+4,04	< 0,001	Significatif

IV. Discussion

A. Rappels des objectifs de l'étude

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer l'effet d'un complément alimentaire, commercialisé sous le nom de C for UtéroPhyt, sur l'involution et les infections utérines, ainsi que sur les troubles métaboliques post-partum chez la vache laitière. L'hypothèse de départ était que ce bolus, associant du calcium et des extraits de plantes, pouvait à la fois améliorer la contractilité utérine, favoriser l'élimination des lochies et contribuer à une meilleure stabilité métabolique au cours des jours post-vêlage.

Ainsi, au-delà du suivi de l'involution anatomique et fonctionnelle de l'utérus, plusieurs paramètres biologiques ont été mesurés, dont le calcium total, le calcium ionisé et les bêta-hydroxybutyrates. Parallèlement, l'incidence et la sévérité des infections utérines ont été évaluées, afin de déterminer si une meilleure involution, favorisée par le traitement, pouvait réduire la fréquence ou l'intensité des infections utérines.

Ce travail combine une démarche méthodologique, expérimentale et analytique avec la construction d'un outil d'évaluation du processus d'involution utérine, l'exploration des corrélations entre les différents marqueurs physiopathologiques et l'étude comparative de l'effet du traitement sur les paramètres utérins et métaboliques post-partum. La taille de l'échantillon ($n = 178$), bien que suffisante pour des analyses descriptives et des tests de corrélation, limite la puissance des analyses multivariées. Ainsi, certains résultats observés pourraient ne pas avoir atteint le seuil de significativité. De plus, la présence de valeurs manquantes, en particulier pour le calcium ionisé, ont limité la taille de la population pour l'analyse de cette variable, et par conséquent, la robustesse des tests.

A. Corrélations entre les paramètres métaboliques et l'état utérin

1. Involution utérine

Dans cette étude, en considérant l'ensemble de la population, le score d'involution utérine n'était pas corrélé au calcium total ($p\text{-value} = 0,35$) ni au calcium ionisé ($p\text{-value} = 0,65$). En revanche, chez les vaches hypocalcémiques ($tCa < 2,0$ mmol/L), une corrélation négative significative a été observée entre le tCa et le score d'involution ($p\text{-value} = 0,04$), traduisant une régression utérine plus lente lorsque la calcémie baisse. Cette analyse a toutefois été réalisée sur un effectif restreint de 18 vaches, ce qui limite la portée statistique des résultats. Ces observations rejoignent celles de Heppelmann et al. qui ont étudié l'effet de l'hypocalcémie subclinique sur la réduction de la taille utérine. Les auteurs ont montré que les vaches hypocalcémiques présentaient une réduction retardée de la longueur utérine entre le 8^{ème} et le 21^{ème} jour post-partum par rapport aux vaches normocalcémiques. Ce ralentissement a été attribué à une diminution de la contractilité myométriale, liée à la moindre disponibilité du calcium intracellulaire nécessaire aux contractions utérines (Heppelmann et al., 2015).

Concernant le statut énergétique, une tendance positive non significative a été mise en évidence entre les BHB et le score d'involution (p -value = 0,07), compatible avec l'idée qu'un bilan énergétique négatif pourrait ralentir l'involution. Bien que ce résultat ne soit pas significatif, il concorde avec les résultats de Paiano et al. qui ont suivi 50 vaches pendant 60 jours post-partum et qui ont mis en évidence que les animaux en cétose subclinique (BHB > 1,2 mmol/L) présentaient une involution retardée, objectivée par une taille utérine plus grande à la palpation et, à l'échographie, par un diamètre de corne et une épaisseur endométriale supérieurs aux témoins (Braga Paiano et al., 2019).

Enfin, la relation la plus notable de cette étude est la forte corrélation positive entre le score d'infection utérine et le score d'involution (p -value < 0,0001). Ce résultat est parfaitement cohérent avec les connaissances établies. Les infections utérines perturbent la régression du volume utérin, entretiennent l'inflammation et retardent l'élimination des lochies, prolongeant ainsi l'ouverture cervicale et la taille utérine. Ce résultat concorde avec l'essai clinique réalisé par Mateus et al. qui ont suivi des vaches jusqu'à 6 semaines post-partum et montré qu'une infection puerpérale retarde l'involution utérine, évaluée par le diamètre du corps utérin et par le volume de liquide intra-utérin (Mateus et al., 2002). De même, Heppelmann et al. ont également confirmé que les vaches présentant une métrite avaient un diamètre utérin significativement plus important entre 15 et 21 jours post-partum que les vaches saines. Ce retard est attribué à une accumulation persistante des lochies et à une altération du tonus myométrial sous l'effet des endotoxines et des médiateurs de l'inflammation (Heppelmann et al., 2015).

Les analyses de corrélation, mesurées par les coefficients de Pearson ou de Spearman, mettent en évidence certaines associations entre les paramètres étudiés. Ces relations contribuent à mieux comprendre les interactions entre les différents mécanismes du post-partum, même si elles ne permettent pas d'établir un lien de causalité. Par exemple, la corrélation positive entre le score d'involution et la sévérité des infections utérines ne permet pas de conclure si un retard d'involution favorise la survenue d'une infection ou si, au contraire, l'infection est la cause d'une involution utérine ralentie. Toutefois, ces observations soulignent l'intérêt d'une approche globale de la prévention, où la maîtrise du statut calcique et énergétique, ainsi que le contrôle des infections utérines, constituent des leviers essentiels pour favoriser une involution rapide et complète.

2. Calcium total et calcium ionisé

L'analyse des corrélations entre les concentrations sanguines en calcium et le score d'infection utérine n'a mis en évidence aucune relation significative, que ce soit pour le calcium total (p -value = 0,82) ou pour le calcium ionisé (p -value = 0,58). Ces résultats contrastent avec ceux de Safak et al. qui ont montré qu'un calcium sanguin bas à J1 post-partum multipliait par plus de quatre le risque de métrite (OR = 4,29) et de rétention placentaire (OR = 5,02) (Safak et al., 2024). A l'inverse, Braga Paiano et al. ont remarqué que la prévalence des métrites n'a pas différencié entre les vaches hypocalcémiques et les vaches normocalcémiques (Braga Paiano et al., 2019).

Ainsi, dans notre étude, l'absence de corrélation significative entre la calcémie et les infections utérines ne contredit pas la littérature, mais traduit probablement une différence de temporalité. La calcémie semble surtout déterminante dans les heures qui suivent le vêlage. Des mesures réalisées très précocement, dès J0-J1, pourraient mieux mettre en évidence cette relation et permettre de préciser le rôle du statut calcique sur la santé utérine post-partum.

B. Analyse critique des effets du bolus C for UtéroPhyt

1. Effet sur l'involution utérine

Le score total d'involution utérine a d'abord été analysé à l'aide d'un modèle linéaire mixte intégrant le traitement UTP et les jours post-partum comme variables fixes, et l'élevage comme effet aléatoire. Ce modèle a mis en évidence une diminution significative du score au fil des jours post-partum (p -value $< 0,001$), ce qui confirme la dynamique physiologique attendue de régression utérine après le vêlage. L'introduction d'une interaction entre le traitement et le temps post-partum a révélé une tendance à une involution légèrement plus rapide chez les vaches traitées, avec une pente estimée à -0,29 point par jour, contre -0,11 point par jour chez les non traitées, bien que cette différence ne soit pas significative (p -value = 0,06).

Afin d'affiner cette analyse, un modèle linéaire mixte ajusté a ensuite été construit, incluant l'ensemble des variables susceptibles d'influencer le score d'involution. Le traitement UTP, le rang de lactation, les JPP, les marqueurs métaboliques (BHB et calcium total) et le grade d'infection utérine ont été intégrés comme effet fixes. Les résultats montrent que le traitement UTP n'a pas d'effet significatif sur le score d'involution utérine (p -value = 0,28). Autrement dit, les vaches traitées ne présentent pas de différence notable par rapport aux non traitées une fois les autres facteurs pris en compte.

En confrontant ces résultats à la littérature, il apparaît qu'à ce jour aucune étude expérimentale publiée n'a évalué spécifiquement l'effet d'un complément associant calcium et extraits végétaux sur l'involution utérine chez la vache laitière. Concernant la composante en phytothérapie du bolus UTP, celle-ci associe plusieurs plantes traditionnellement décrites pour leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, détoxifiantes, anti-inflammatoires et stimulantes des fibres musculaires, mais leur impact spécifique sur la motricité utérine reste à ce jour mal documenté chez les bovins.

Les travaux disponibles se concentrent principalement sur les effets du statut calcique ou de la supplémentation orale en calcium sur l'état infectieux du tractus utérin et les performances de reproduction de manière plus globale. Certaines études suggèrent néanmoins que le statut calcique influence la vitesse d'involution. Braga Paiano et al. ont montré que les vaches hypocalcémiques présentaient une involution retardée et une taille utérine supérieure lors des suivis échographiques entre J14 et J45 post-partum (Braga Paiano et al., 2019). De même, plus récemment, Tobolski et al. ont observé que des concentrations plasmatiques plus faibles de calcium total durant la quatrième semaine post-partum étaient corrélées à des diamètres utérins et cervicaux plus élevés, confirmant le rôle déterminant du calcium dans la contractilité myométriale et la vidange utérine (Tobolski et al., 2025). Ces publications appuient donc l'hypothèse d'un lien physiologique entre équilibre calcique et involution utérine, bien que l'effet d'une supplémentation calcique reste à démontrer.

Les résultats observés dans cette étude, bien que modérés et non significatifs, vont dans le sens d'une tendance plausible à une involution légèrement accélérée grâce au traitement UTP. Néanmoins, le niveau moyen du score d'involution ne différait pas entre les deux groupes, suggérant que l'effet potentiel du bolus, s'il existe, est faible ou masqué par d'autres facteurs (parité, état métabolique, condition corporelle...). De plus, la différence de pente entre les deux groupes reste faible et doit être interprétée avec prudence. Un effectif plus important et un suivi sur une plus longue durée, en répétant les évaluations de manière rapprochée, auraient probablement permis de confirmer ou d'écarter cette tendance.

2. Effet sur les paramètres métaboliques

Dans la population, les paramètres métaboliques mesurés au cours des 3 premières semaines post partum (BHB, calcium total et calcium ionisé) présentent un profil globalement stable et peu différent entre les vaches traitées et non traitées. Le modèle n'a mis en évidence aucun effet du traitement sur les concentrations de BHB (p-value = 0,59), de calcium total (p-value = 0,07) ou de calcium ionisé (p-value = 0,80). A l'inverse, un effet du temps est observé, avec une augmentation significative du calcium au fil des jours post-partum : tCa (p-value = 0,04) et iCa (p-value = 0,004), ce qui traduit la restauration physiologique de l'homéostasie calcique après le vêlage. De plus, la moyenne ajustée du tCa tend à être légèrement plus basse chez les traitées que chez les non traitées, alors qu'aucune différence n'est détectée pour l'iCa. Enfin, les distributions de BHB restent nettement inférieures au seuil de cétose subclinique, avec une faible proportion d'animaux $\geq 1,2$ mmol/L, ce qui témoigne d'une faible prévalence de cétose dans les trois élevages sélectionnés.

Ces résultats suggèrent que, dans les conditions de notre étude, le bolus UTP n'a pas eu d'effet mesurable sur le statut calcique ou énergétique post-partum. Cette observation rejoint plusieurs travaux récents, notamment ceux de Martinez et al. qui ont évalué les effets d'une supplémentation orale en calcium, le jour du vêlage, sur le statut minéral et métabolique des vaches laitières. Dans cette étude, les résultats montrent que la supplémentation induit une augmentation rapide mais transitoire des concentrations sériques de calcium. L'iCa et le tCa augmentent pendant 2h après l'administration de 43 g de calcium et pendant 8h après 86 g de calcium (contre 30 g de calcium pour le bolus UTP administré dans notre étude). Au-delà de cette période, les concentrations se stabilisent et aucune différence significative n'est observée entre les vaches supplémentées et les vaches témoins (Martinez et al., 2016).

En parallèle, Martinez et al. ont réalisé une seconde étude qui démontre que la durée du protocole de supplémentation influence la prévalence de l'hypocalcémie subclinique. Ainsi, une administration sur quatre jours consécutifs permettait de réduire significativement la proportion de vaches hypocalcémiques, alors qu'une supplémentation limitée à deux jours n'avait aucun effet significatif sur cette prévalence. Ces résultats illustrent à la fois la courte durée d'action du calcium oral et la nécessité d'un renouvellement des apports pour maintenir des concentrations circulantes suffisantes dans les premiers jours post-partum. De plus, ils ont également montré que la supplémentation orale n'affectait pas significativement les concentrations de BHB, suggérant que l'apport calcique ne modifie pas le statut énergétique dans les jours qui suivent le vêlage (Martinez et al., 2016).

Les observations de Martinez et al. confirment donc que les effets métaboliques d'une supplémentation calcique orale sont très précoces et transitoires, dépendants de la dose administrée, de la durée du protocole et du moment du prélèvement. Dans notre étude, les prélèvements réalisés à partir de J1 post-partum et jusqu'au J21 se situent au-delà de la période de réponse maximale (< 8h après vêlage), ce qui pourrait expliquer l'absence de différence observée entre les vaches traitées et les vaches non traitées sur les paramètres calciques. De plus, la faible prévalence de l'hypocalcémie subclinique et de la cétose subclinique dans les élevages sélectionnés suggère que les vaches incluses étaient globalement en bon équilibre métabolique, limitant la capacité à détecter un éventuel effet bénéfique du traitement.

3. Effet sur les infections utérines

Dans la population étudiée, la proportion de vaches présentant une infection utérine est plus faible chez les vaches traitées que chez les non traitées (25,6% et 36% respectivement). Le modèle logistique binaire (saine / infectée) met en évidence une réduction non significative du risque d'infection avec le traitement UTP (p-value = 0,14). Parmi les vaches infectées, l'analyse de la gravité (infection légère / infection sévère) montre également une réduction non significative avec le bolus (p-value = 0,62). Toutefois, le score M6 (rétention placentaire) restait légèrement plus fréquent chez les vaches traitées, mais sur une très faible proportion de la population.

Les effets de la supplémentation en calcium sur l'incidence des infections utérines restent à ce jour débattus. Martinez et al. ont observé qu'une supplémentation orale en chlorure de calcium et sulfate de calcium immédiatement après le vêlage n'avait pas d'effet sur la prévalence des maladies post-partum, incluant la métrite (Martinez et al., 2016). De même, Domino et al. n'ont pas mis en évidence de bénéfice sur le risque d'infection utérine après une supplémentation orale ou sous-cutanée en calcium (Domino et al., 2017). Ces résultats suggèrent que l'administration de calcium pourrait présenter un intérêt limité lorsqu'elle est réalisée de manière systématique, et qu'un ciblage sur les vaches à risque d'hypocalcémie serait, sans doute, plus approprié.

Concernant les préparations à base de phytothérapie, les études scientifiques publiées, bien que peu nombreuses, semblent prometteuses. Paiano et al. ont évalué *in vitro* l'activité antibactérienne des huiles essentielles de cannelle, d'origan et de thym contre *Escherichia coli* et *Trueperella pyogenes* isolés de vaches atteintes d'endométrite clinique. Les résultats suggèrent un potentiel antibactérien de ces trois huiles essentielles, et plus particulièrement pour la cannelle qui présente les valeurs de CMI les plus faibles, tandis que l'origan et le thym montrent une activité moindre (Paiano et al., 2023). Plus récemment, une étude contrôlée a mis en évidence qu'une formule, contenant diverses plantes, administrée dans les 2 h suivant le vêlage, sous forme de poudre orale, diminuait l'incidence de la rétention placentaire et de la métrite puerpérale, soutenant l'hypothèse des effets utéro-toniques, anti-inflammatoires et anti-microbiens de certaines associations végétales (Cui et al., 2024).

Ainsi, bien que la tendance observée dans notre étude suggère une fréquence légèrement plus faible d'infections utérines chez les vaches traitées, aucun effet statistiquement significatif n'a pu être mis en évidence. Les résultats obtenus, comparés à la littérature, indiquent que l'efficacité d'un complément associant calcium et extraits végétaux dépend probablement de multiples facteurs comme le moment et la fréquence d'administration, le statut métabolique des animaux et la composition précise de la formulation. Des essais complémentaires devraient être réalisés afin de mieux caractériser le rôle potentiel de ce type de supplémentation dans la prévention des infections utérines.

C. Améliorations du protocole et perspectives

Certaines limites méthodologiques doivent être prises en considération dans l'interprétation des résultats obtenus. La première concerne la méthode d'attribution du traitement. Bien que l'étude ait été menée en simple aveugle pour le vétérinaire évaluateur, l'absence de randomisation stricte du traitement (une vache sur deux traitée) expose à un risque de biais de sélection. En effet, bien que des directives claires aient été transmises par le vétérinaire aux éleveurs, il est possible que ces derniers aient, consciemment ou non, choisi de traiter les vaches qu'ils percevaient comme plus fragiles ou à risque, ce qui pourrait avoir atténué l'effet observé du bolus. Une randomisation complète et indépendante du choix de l'éleveur aurait permis de limiter ce biais potentiel.

De plus, les vaches non traitées n'ont reçu aucun traitement, alors qu'un bolus placebo visuellement identique mais dépourvu de principes actifs aurait permis de distinguer l'effet propre du produit testé de celui lié à la manipulation de l'éleveur. L'utilisation d'un placebo est une approche couramment recommandée dans les essais cliniques, bien qu'elle puisse s'avérer difficile à mettre en œuvre (production du placebo et manipulation perçue comme inutile pour l'éleveur). Une telle comparaison aurait permis de renforcer l'étude terrain.

Une autre limite importante réside dans la fréquence des mesures biologiques. Les marqueurs métaboliques (BHB, calcium total, calcium ionisé) n'ont été mesurés qu'une seule fois par vache, entre J1 et J21 post-partum. Or, la période post-partum est caractérisée par une grande variabilité métabolique. Une série de mesure répétées, par exemple avant l'administration du bolus puis à J1, J3, J7, J14 et J21, aurait permis de décrire plus finement la dynamique des variations métaboliques, et d'évaluer plus précisément la chronologie des interactions entre hypocalcémie, bilan énergétique négatif et involution utérine. De même, un examen clinique supplémentaire autour de 3 à 4 semaines post-partum aurait été pertinent afin de contrôler l'achèvement ou le retard de l'involution utérine.

Par ailleurs, certaines variables intéressantes n'ont pas été intégrées dans les analyses de l'étude, notamment le score de boiterie, alors que plusieurs études soulignent son impact sur la physiologie post-partum. La boiterie est un facteur de stress chronique, susceptible d'altérer le statut énergétique, la fonction immunitaire et la reproduction. L'étude de Praxitèle et al. a montré que les vaches Prim'Holstein boiteuses présentaient une involution utérine retardée pour le col utérin (p -value = 0,0003) et pour la corne utérine anciennement gravide (p -value = 0,02) (Praxitèle et al., 2023). L'absence de cette variable dans le protocole constitue donc une limite méthodologique, car elle pourrait expliquer une partie de la variabilité observée dans le score d'involution ou les paramètres métaboliques.

Enfin, il est important de noter que la dose et le protocole d'administration du bolus C for UtéroPhyt différaient des recommandations commerciales du laboratoire Savetis, qui préconisent l'administration de trois bolus à 24 heures d'intervalle. Dans cette étude, une seule dose a été administrée pour des raisons de praticité pour l'éleveur et de coût financier. Il est donc possible que l'absence d'effet significatif observée soit liée à un sous-dosage du traitement.

CONCLUSION

L'involution utérine représente une étape essentielle du post-partum chez la vache laitière. Son bon déroulement conditionne directement la reprise de l'activité ovarienne et la fertilité future de l'animal. Pourtant, il n'existe pas de consensus sur la manière d'évaluer ce processus, sans véritable outil standardisé permettant d'en apprécier la dynamique de manière objective. C'est dans cette optique qu'a été menée cette thèse, dont l'objectif principal était de proposer un score simple et reproductible d'évaluation de l'involution utérine. Une phase préliminaire de validation sur le terrain a confirmé la faisabilité de ce score, sa clarté d'utilisation et sa bonne reproductibilité entre observateurs.

Dans un second temps, une étude expérimentale a été menée afin d'évaluer l'impact d'un complément alimentaire, associant calcium et extraits de plantes, sur l'état utérin et les troubles métaboliques post-partum. L'objectif était d'examiner si ce bolus pouvait favoriser une involution utérine plus rapide et améliorer l'équilibre métabolique des vaches fraîchement vêlées. Bien qu'aucun effet significatif n'ait été démontré dans les conditions de cette étude, certaines tendances positives ont été mises en évidence, notamment en ce qui concerne la vitesse d'involution utérine. Sur le plan métabolique, aucune différence liée au traitement n'a été observée pour les concentrations de BHB, de calcium total et de calcium ionisé. Concernant les infections utérines, la proportion de vaches saines était plus élevée dans le groupe traité, sans atteindre toutefois le seuil de significativité.

Les analyses de corrélations ont permis de mieux cerner les interactions physiopathologiques du post-partum. L'hypocalcémie, en particulier lorsqu'elle est marquée, est associée à une involution utérine plus lente, ce qui est cohérent avec le rôle du calcium dans la contractilité myométriale. Par ailleurs, l'infection utérine apparaît comme un facteur déterminant du retard d'involution, confirmant son impact sur la régression utérine. Pour finir, les corrélations entre le rang de lactation et les béta-hydroxybutyrates ainsi que le calcium ionisé mettent en évidence une sensibilité accrue des multipares face au bilan énergétique négatif et à l'hypocalcémie. Ces observations, en accord avec la littérature, renforcent l'intérêt d'une approche globale de la santé utérine en tenant compte à la fois du statut calcique, du bilan énergétique négatif et de l'état infectieux de l'utérus.

Pour conclure, ces résultats doivent toutefois être replacés dans le contexte de l'étude, menée dans le cadre des suivis réguliers de reproduction, sans acte vétérinaire supplémentaire, garantissant ainsi le respect du bien-être animal. Bien qu'aucun effet significatif du bolus C for UtéroPhyt n'ait été mis en évidence sur les paramètres étudiés, ce travail ouvre plusieurs pistes d'amélioration pour de futurs travaux. Des études complémentaires, idéalement sous la forme d'essais randomisés et contrôlés par un placebo, pourraient être envisagées, avec une administration du bolus pendant trois jours consécutifs, un effectif plus important, et des prélèvements précoces et répétés. Enfin, l'ajout de paramètres simples et facilement observables permettrait de mieux caractériser les dynamiques métaboliques et utérines du post-partum.

BIBLIOGRAPHIE

- Balarezo U, L., Garcia-Diaz, J., Hernandez-Barreto, M., & Vargas-Hernandez, S. (2018). Uterine Involution in Holsitein cows in the province of Carchi, Ecuador. *REVISTA MVZ CORDOBA*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1339>
- Barragan, A. A., Lakritz, J., Carman, M. K., Bas, S., Hovingh, E., & Schuenemann, G. M. (2019). Short communication : Assessment of biomarkers of inflammation in the vaginal discharge of postpartum dairy cows diagnosed with clinical metritis. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 7469-7475. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15854>
- Braga Paiano, R., Becker Birgel, D., & Harry Birgel Junior, E. (2019). Uterine Involution and Reproductive Performance in Dairy Cows with Metabolic Diseases. *Animals*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ani9030093>
- Brodzki, P., Brodzki, A., Kurek, L., Szpetnar, M., & Bochniarz, M. (2016). Effect of Uterine Inflammatory Status as Well as Calcium and Magnesium Concentrations on the Uterine Involution Process in Dairy Cows. *ANNALS OF ANIMAL SCIENCE*, 16(3), Article 3. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0098>
- Carbonari, A., Burgio, M., Frattina, L., Ceci, E., Sciannamblo, M., Ricci, P., Cicirelli, V., & Rizzo, A. (2024). Oxytocin, prostaglandin F2 α , and scopolamine for uterine involution of dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 11(1), 1405746. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1405746>
- Chastant, S., Deguillaume, L., & Constant, F. (2008). *L'involution uterine chez la vache : Histoire naturelle d'une infection physiologique*. JNGTV, Nantes, SNGTV, 17-23.
- Cohrs, I., Wächter, S., Golbeck, L., & Grünberg, W. (2023). Evaluation of the relationship between ionized and total calcium concentrations in blood during the first week of lactation in dairy cows. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37(6), 2592-2602. <https://doi.org/10.1111/jvim.16879>
- Cui, D., Wang, L., Wang, L., He, J., Li, Y., Zhang, Z., & Wang, S. (2024). Efficacy of an herbal formula Guixiong Yimu San in preventing retained placenta and improving reproductive performance in cows. *Scientific Reports*, 14(1), 12673. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63521-x>
- Dai, T., Ma, Z., Guo, X., Wei, S., Ding, B., Ma, Y., & Dan, X. (2023). Study on the Pattern of Postpartum Uterine Involution in Dairy Cows. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*, 13(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/ani13233693>
- Deguillaume, L., Constant, F., Boulouis, H. J., Thoumire, S., Vornière, C., Geffré, A., Fournier, R., & Chastant, S. (2008). *Comment évaluer la santé de l'utérus post-partum ?* JNGTV, Nantes, SNGTV, 25-30.
- Département de l'Ain. (2023). *Carte des cantons et communes Ain*. <https://hub.arcgis.com/documents/ain::carte-des-cantons-et-communes-a3/about>
- Descôteaux, L., Descôteaux, L., & Vaillancourt, D. (2012). *Vade-mecum de gestion de la reproduction des bovins laitiers*. Paris : MED COM. ISBN : 978-2-35403-093-2, 240 p.
- Domino, A. R., Korzec, H. C., & McArt, J. A. A. (2017). Field trial of 2 calcium supplements on early lactation health and production in multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9681-9690.

- Domokos, M., Igyarto, B., Pecs, A., Gabor, M., Foldi, J., Kulcsar, M., Huszenicza, G., Neogrady, Z., & Galfi, P. (2010). Decreasing the proportion of apoptotic cells in the endometrium in early period of involution in hyperketonaemic cows. *MAGYAR ALLATORVOSOK LAPJA*, 132(11), Article 11, 641-646
- Echternkamp, S. E., & Gregory, K. E. (1999). Effects of twinning on gestation length, retained placenta, and dystocia. *Journal of Animal Science*, 77(1), 39-47. <https://doi.org/10.2527/1999.77139x>
- Elkjær, K., Labouriau, R., Ancker, M.-L., Gustafsson, H., & Callesen, H. (2013). Practical use of a uterine score system for predicting effects on interval from calving to first insemination and non-return rate 56 in Danish dairy herds. *The Veterinary Journal*, 198(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.022>
- Esposito, G., Irons, P. C., Webb, E. C., & Chapwanya, A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 144(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.11.007>
- Fournier, R., Deguillaume, L., & Chastant-Maillard, S. (2014). Quelle méthode privilégier en pratique pour le diagnostic des endométrites de la vache laitière ? *Le Point Vétérinaire.fr*, 349. <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article-rural/n-349/quelle-methode-privilegier-en-pratique-pour-le-diagnostic-des-endometrites-de-la-vache-laitiere.html>
- Fournier, R., Engel, C., Roux, J.-Y., & Forgeat, G. (2013). *Intérêt des indicateurs métaboliques précoces dans la prévention des troubles de la reproduction de la vache laitière en post partum*. JNGTV, Nantes, SNGTV, 405-414.
- Hanzen, C. *L'involution utérine et le retard d'involution utérine (RIU) chez la vache*. Consulté le 13 Janvier 2025, à l'adresse https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/70570/1/R12_Involution_uterine-2016.pdf
- Hanzen, C., Théron, L., Simon, A., & Deguillaume, L. (2009). Infections utérines : Définition, symptômes et diagnostic. *Le Point Vétérinaire.fr*, 299. <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-299/infections-uterines-definition-symptomes-et-diagnostic.html>
- Heppelmann, M., Krach, K., Krueger, L., Benz, P., HERZOG, K., Piechotta, M., Hoedemaker, M., & Bollwein, H. (2015). The effect of metritis and subclinical hypocalcemia on uterine involution in dairy cows evaluated by sonomicrometry. *The Journal of Reproduction and Development*, 61(6), Article 6. <https://doi.org/10.1262/jrd.2015-015>
- Jakupov, I., Karabayeva, Z., & Abultdinova, A. (2021). Diagnostic tool for the diagnosis of physiological and pathological conditions of the uterus in cows postpartum. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere / Nutztiere*, 49(04), Article 04. <https://doi.org/10.1055/a-1525-9036>
- Jose-Cunilleras, E., Robles-Guirado, J. A., Ríos, J., Elcoso, G., Bach, A., & Bassols, A. (2025). Serum Ionised Calcium and Ionised Magnesium in Dairy Cows and Their Associations With the Incidence and Severity of Postpartum Metritis. *Reproduction in Domestic Animals*, 60(4), e70057. <https://doi.org/10.1111/rda.70057>
- Julien, C. (2017). Évaluation du statut énergétique de la vache laitière : Quand, sur qui, comment ? *Le Point Vétérinaire.fr*, 17. <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article-rural-spe/n-2017/evaluation-du-statut-energetique-de-la-vache-laitiere-quand-sur-qui-comment.html>

- Kamgarpour, R., Daniel, R. C. W., Fenwick, D. C., McGuigan, K., & Murphy, G. (1999). Post partum subclinical hypocalcaemia and effects on ovarian function and uterine involution in a dairy herd. *VETERINARY JOURNAL*, 158(1), Article 1. <https://doi.org/10.1053/tvjl.1999.0348>
- Katiyar, R., Deori, S., & Singh, M. (2021). Does Oxidative Stress Impact Bovine Reproductive Disorders? *The Indian Journal of Animal Reproduction*, 42(2), 1-7. <https://doi.org/10.48165/ijar.2021.42.2.1>
- Kumarswamy, M., Bhagwat, V. G., Tattimani, S., & Paramesh, R. (2021). Helpful viability of post calving tonic for the treatment of post calving complications in dairy animals. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.5455/javar.2021.h557>
- Lal, G. S., Bhakat, M., & Mohanty, T. K. (2025). Metritis in Dairy Cattle : Diagnostic Challenges, Economic Impacts, and Emerging Insights. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 44(1), 87-101. <https://doi.org/10.9734/cjast/2025/v44i14478>
- LeBlanc, S. J. (2008). Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance : A review. *The Veterinary Journal*, 176(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.019>
- Lefebvre, R. C., Tyson, N., & Stock, A. E. (2012). Les facteurs de risque individuels des principales infections utérines post-partum chez la vache. *Le Nouveau Praticien Vétérinaire élevages & santé*, 5(21), Article 21.
- Martinez, N., Sinedino, L. D. P., Bisinotto, R. S., Daetz, R., Lopera, C., Risco, C. A., Galvão, K. N., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2016). Effects of oral calcium supplementation on mineral and acid-base status, energy metabolites, and health of postpartum dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8397-8416. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10527>
- Mateus, L., Lopes da Costa, L., Bernardo, F., & Robalo Silva, J. (2002). Influence of Puerperal Uterine Infection on Uterine Involution and Postpartum Ovarian Activity in Dairy Cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 37(1), 31-35. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2002.00317.x>
- Matoso Nunes Canabrava, A. C., de Oliveira, P. M., Nasciutti, N. R., Silva Padua, M. F., de Barros Ramos Oliveira, R. S., de Oliveira, D., Tsuruta, S. A., dos Santos, R. M., & Elsen Saut, J. P. (2014). Dynamics of the Uterine Involution in Postpartum Guzera Cows. *BIOSCIENCE JOURNAL*, 30(5), Article 5.
- McDougall, S., Macaulay, R., & Compton, C. (2007). Association between endometritis diagnosis using a novel intravaginal device and reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science*, 99(1), 9-23. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.03.017>
- Paiano, R. B., de Sousa, R. L. M., Bonilla, J., Moreno, L. Z., de Souza, E. D. F., Baruselli, P. S., & Moreno, A. M. (2023). Effets in vitro des huiles essentielles de cannelle, d'origan et de thym contre *Escherichia coli* et *Trueperella pyogenes* isolés de vaches laitières atteintes d'endométrite clinique. *Theriogenology*, 196, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.11.010>
- Praxitèle, A., Katsoulos, P. D., Tsaousioti, A., Brozos, C., Schmicke, M., Boscos, C. M., & Tsousis, G. (2023). Comparison of Uterine Involution and the Resumption of Ovarian Cyclicity between Lamé and Sound Holstein Cows. *Animals*, 13(23), 3645. <https://doi.org/10.3390/ani13233645>
- R Core Team. (2024). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. [Logiciel]. <https://www.r-project.org/>
- Ruiz, L., & Sandoval, R. (2013, août). *Involución uterina en el ganado bovino : Un nuevo score para su evaluación y su relación con el número de partos y los días en lactación*. *Spermova*, 3 (1), 87-88.

- Ruiz-García, L. F., Arévalo, I. K. C., Carcelén, F., Pizarro, J. L., & Sandoval-Monzón, R. S. (2022). Association between serum calcium levels and the presentation of postpartum endometritis in housed dairy cows. *Research in Veterinary Science*, 144, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.01.015>
- Safak, T., Durukan, E., Yilmaz-Koc, O., Risvanli, A., Soyuturk, B. I., & Bayraktar, M. (2024). Evaluation of β -hydroxybutyrate, calcium, and non-esterified fatty acids at day one postpartum in predicting the risk of diseases in dairy cows. *Acta Veterinaria Brno*, 93(4), 361-366. <https://doi.org/10.2754/avb202493040361>
- Sheldon, I. M. (2004). The postpartum uterus. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 20(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.008>
- Sheldon, I. M., Cronin, J., Goetze, L., Donofrio, G., & Schuberth, H.-J. (2009). Defining Postpartum Uterine Disease and the Mechanisms of Infection and Immunity in the Female Reproductive Tract in Cattle. *Biology of reproduction*, 81(6), 1025-1032. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.077370>
- Sheldon, I. M., Lewis, G. S., LeBlanc, S., & Gilbert, R. O. (2006). Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology*, 65(8), Article 8. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.08.021>
- Sheldon, I. M., & Owens, S. E. (2017). Postpartum uterine infection and endometritis in dairy cattle. *Animal Reproduction*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR1006>
- Singh, J., Murray, R. D., Mshelia, G., & Woldehiwet, Z. (2008). The immune status of the bovine uterus during the peripartum period. *The Veterinary Journal*, 175(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.02.003>
- Smail, N. L., Adnane, M., Wagener, K., Drillich, M., & Chapwanya, A. (2025). Roadmap to Dystocia Management—Guiding Obstetric Interventions in Cattle. *Life*, 15(3), 457. <https://doi.org/10.3390/life15030457>
- STEPHEN, C. P., JOHNSON, W. H., LEBLANC, S. J., FOSTER, R. A., & CHENIER, T. S. (2019). The impact of ecobolic therapy in the early postpartum period on uterine involution and reproductive health in dairy cows. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 81(3), Article 3. <https://doi.org/10.1292/jvms.18-0617>
- Tobolski, D., Pascottini, O. B., Opsomer, G., Tobolska, A., & Barański, W. (2025). Blood total calcium concentrations in the fourth week postpartum of dairy cows continue to play a key role in uterine involution. *Theriogenology*, 245, 117486. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.117486>
- Vallejo-Timaran, D. A., Reyes, J., Gilbert, R. O., Lefebvre, R. C., Palacio-Baena, L. G., & Maldonado-Estrada, J. G. (2021). Incidence, clinical patterns, and risk factors of postpartum uterine diseases in dairy cows from high-altitude tropical herds. *Journal of Dairy Science*, 104(8), Article 8. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18692>
- Wathes, D. C., Cheng, Z., Chowdhury, W., Fenwick, M. A., Fitzpatrick, R., Morris, D. G., Patton, J., & Murphy, J. J. (2009). Negative energy balance alters global gene expression and immune responses in the uterus of postpartum dairy cows. *Physiological Genomics*, 39(1), 1-13. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00064.2009>
- Young, C. D., Schrick, F. N., Pohler, K. G., Saxton, A. M., Croce, F. A. D., Roper, D. A., Wilkerson, J. B., & Edwards, J. L. (2017). Short communication : A reproductive tract scoring system to manage fertility in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(7), Article 7. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12288>

ANNEXES

Annexe I : Consentement éclairé à destination des éleveurs participant à l'étude

Consentement éclairé Etude C For UtéroPhyt au vêlage

- ❖ **Présentation** : La clinique vétérinaire Optivet, en partenariat avec l'Ecole Vétérinaire de Lyon VetAgroSup, souhaite mener une étude sur l'impact de l'utilisation du C For UtéroPhyt sur l'état de l'utérus et les troubles métaboliques post-partum. Cette étude sera réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat vétérinaire menée par Angélique DEGLETAGNE, étudiante en dernière année.
- ❖ **Objectif** : Ce projet a pour but, dans un premier temps, d'établir un score de l'involution utérine nous permettant de noter et comparer plus facilement les vaches entre elles, puis de réaliser une étude « traité / non traité » afin d'analyser les effets de l'administration d'un bolus C for UtéroPhyt chez la vache laitière.
- ❖ **Réalisation** : Dans le cadre de cette étude, vous devrez administrer un bolus de C For UtéroPhyt par voie orale, à l'aide d'un lance-bolus, le jour du vêlage, à une vache sur deux. Le suivi de reproduction sera ensuite réalisé de manière habituelle (examen gynécologique et prise de sang) par le Dr Adrien BERNARD. Les données, saisies dans Venotis, seront recueillies puis analysées afin de comparer le groupe traité du groupe non-traité.
- ❖ **Confidentialité** : Les données seront anonymisées et stockées de manière sécurisée. Elles seront diffusées sur le manuscrit de thèse et, éventuellement, lors de communications dans des revues ou congrès professionnels, mais toujours de façon anonymisée.
- ❖ **Risques éventuels** : Les bolus de C For UteroPhyt sont des compléments alimentaires avec des ions et des plantes entraînant donc un risque négligeable d'effet secondaire pour l'animal.
- ❖ **Bénéfices** :
 - Diminution possible de la prévalence de métrite, d'hypocalcémie subclinique et de cétose subclinique dans l'élevage, donc réduction des coûts de traitement
 - Amélioration possible des performances de reproduction avec une meilleure involution utérine et un retour à la cyclicité plus précoce
- ❖ **Gratification** : En contre partie de votre participation à ce projet, les bolus de C For UtéroPhyt vous seront fournis à titre gracieux pendant toute la durée de l'étude.

La signature de ce document atteste de votre consentement afin d'avoir accès à vos bovins et aux données relatives à votre cheptel jusqu'à la fin de l'étude, soit jusqu'au 1^{er} juin 2025. Toutefois, à tout moment, vous avez la possibilité de vous retirer de l'étude sans aucun préjudice.

ELEVEUR	VETERINAIRE
Nom :	Nom :
Date :	Date :
Signature précédée de la mention « Lu et approuvé » :	Signature :

```
library(dplyr)
library(lme4)
library(lmerTest)
donnees_modele <- donnees %>%
  filter(!is.na(TOTAL), !is.na(BHB), !is.na(CALCIUM_TOTAL), !is.na(INFECTION), !is.na(UTP)) %>%
  mutate(
    TRAITEMENT = factor(UTP, levels = c("NON", "OUI")), # Codage : NON = contrôle, OUI = bolus
    ELEVAGE = factor(ELEVAGE),
    RL = as.numeric(RL),
    JPP = as.numeric(JPP),
    TOTAL = as.numeric(TOTAL),
    BHB = as.numeric(BHB),
    CALCIUM_TOTAL = as.numeric(CALCIUM_TOTAL),
    INFECTION = factor(INFECTION, levels = c("SAINE", "M1", "M2", "M3", "M4", "M5", "M6"), ordered
= TRUE)
  )
modele_traitement_p <- lmer(
  TOTAL ~ TRAITEMENT + RL + JPP + BHB + CALCIUM_TOTAL + INFECTION + (1 | ELEVAGE),
  data = donnees_modele3
)
summary(modele_traitement_p)
```


ÉLABORATION D'UN SCORE DE L'INVOLUTION UTÉRINE CHEZ LA VACHE LAITIÈRE ET ÉTUDE DE L'IMPACT DE L'UTILISATION D'UN COMPLÉMENT ALIMENTAIRE SUR L'ÉTAT DE L'UTÉRUS ET LES TROUBLES MÉTABOLIQUES PÉRI-PARTUM

Auteur

DEGLETAGNE Angélique

Résumé

L'involution utérine constitue une étape essentielle du post-partum chez la vache laitière, conditionnant la reprise de l'activité ovarienne et la fertilité. Cependant, son évaluation demeure peu standardisée. Ce travail vise à élaborer un score simple, reproductible et applicable en pratique pour apprécier objectivement l'involution utérine, puis à étudier l'effet d'un complément alimentaire associant calcium et extraits végétaux sur la santé utérine et les équilibres métaboliques du post-partum. La première partie de la thèse présente les mécanismes physiologiques de l'involution utérine et les principaux facteurs susceptibles de l'influencer. La seconde partie décrit l'élaboration du score d'involution utérine, basée sur trois critères cliniques (ouverture du col, aspect des glaires, taille de l'utérus), dont la faisabilité et la reproductibilité ont été confirmées sur le terrain. Enfin, une étude expérimentale a été menée dans plusieurs élevages pour évaluer les effets du bolus C for UtéroPhyt administré au vêlage. Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes traités et non traités concernant les paramètres métaboliques (BHB, calcium total et ionisé) ou les infections utérines, bien que certaines tendances favorables à une involution plus rapide aient été relevées. Les corrélations étudiées ont confirmé le rôle du calcium et des infections dans la dynamique utérine, ainsi qu'une plus grande sensibilité des vaches multipares aux déséquilibres métaboliques. Ainsi, ce travail propose un outil permettant d'évaluer l'involution utérine et ouvre la voie à de futurs essais contrôlés visant à approfondir les effets des compléments alimentaires, et en particulier de la phytothérapie, sur la santé utérine post-partum.

Mots-clés

Bovin laitier, Reproduction, Tractus génital, Étude de terrain, Complément alimentaire

Jury

Président du jury	:	Madame la Professeure	BONNET Jeanne-Marie
Directeur de thèse	:	Monsieur le Docteur	BERNARD Adrien
1er assesseur	:	Madame la Professeure	BECKER Claire
2ème assesseur	:	Monsieur le Professeur	BRUYÈRE Pierre