



HAL
open science

Étude expérimentale de la croissance des agneaux issus de brebis laitières de race Lacaune de la naissance au sevrage : mise en relation des paramètres zootechniques des agneaux et des mères

Salomé Soulié

► To cite this version:

Salomé Soulié. Étude expérimentale de la croissance des agneaux issus de brebis laitières de race Lacaune de la naissance au sevrage : mise en relation des paramètres zootechniques des agneaux et des mères. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04503005

HAL Id: dumas-04503005

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04503005>

Submitted on 13 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA CROISSANCE DES AGNEAUX ISSUS DE BREBIS LAITIÈRES DE RACE LACAUNE DE LA NAISSANCE AU SEVRAGE : MISE EN RELATION DES PARAMÈTRES ZOOTECHNIQUES DES AGNEAUX ET DES MÈRES

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

SOULIÉ Salomé, Emma,

Anna

Directrice de thèse : Mme Annabelle MEYNADIER

JURY

PRESIDENT :

M. Gilles FOUCRAS

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESSEURES :

Mme Annabelle MEYNADIER

M. Fabien CORBIERE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITÉE :

Mme Christel MARIE-ETANCELIN

Ingénieure de recherche à l'INRAE de TOULOUSE - GenPhySE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **FUSADE-BOYER Maxime**, *Microbiologie et infectiologie*
M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie pathologique*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

Remerciements

A Monsieur le Professeur Gilles FOUCRAS

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pathologie des ruminants

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse,
Hommages respectueux.

A Madame la Professeur Annabelle MEYNADIER

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Alimentation animale

Qui a aimablement accepté la direction de cette thèse, pour sa gentillesse,
Sincères remerciements.

A Monsieur le Professeur Fabien CORBIERE

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pathologie des ruminants

Qui a aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse,
Sincères remerciements.

A Madame Christel MARIE-ETANCELIN

Ingénieure de recherche à l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation
et l'Environnement de TOULOUSE - Laboratoire GenPhySE

Pour son aide précieuse lors de la rédaction de ce manuscrit, pour sa bienveillance et sa
gentillesse,
Profonde gratitude.

Table des matières

Remerciements.....	1
Table des matières.....	3
Liste des tableaux.....	7
Liste des figures.....	9
Listes des abréviations.....	13
Introduction.....	15
PREMIERE PARTIE : Étude bibliographique.....	16
1) Contexte : la filière ovine.....	16
a) La filière ovine française.....	16
b) La filière ovine laitière.....	18
c) La filière ovine Roquefort.....	19
2) La brebis laitière.....	20
a) Production laitière.....	21
i) Composition du colostrum.....	21
ii) Production et composants principaux du lait de brebis.....	22
iii) Composition fine du lait.....	25
(1) Eau.....	25
(2) Matière grasse.....	25
(3) Matière protéique.....	26
(4) Glucides.....	27
(5) Vitamines et minéraux.....	27
(6) Cellules.....	28
b) Le déficit énergétique autour de la mise-bas.....	30
3) La croissance des agneaux : physiologie et facteurs de variation.....	33
a) La croissance des agneaux.....	33
b) Paramètres de performance des ovins allaitants.....	36
c) Les agneaux de race Lacaune lait.....	40
d) Facteurs influençant la croissance des agneaux.....	40
i) Poids à la naissance.....	40
ii) Sexe et race.....	41
iii) Taille de portée.....	41
iv) Alimentation.....	41
v) Facteurs maternels.....	42
vi) Environnement.....	44
vii) Sanitaire.....	45
DEUXIEME PARTIE : Étude expérimentale.....	46
1) Matériel et méthode.....	46
a) Contexte et objectif de l'étude.....	46
b) Population d'étude.....	46
c) Conduite des animaux durant l'essai.....	47
d) Obtention des données.....	47

i) Enregistrements sur les brebis.....	47
ii) Mesures sur les brebis.....	48
iii) Prélèvements sur les brebis.....	48
iv) Enregistrements sur les agneaux.....	48
v) Mesures sur les agneaux.....	49
e) Analyses des prélèvements réalisés sur les mères.....	49
i) Dosage des B-hydroxybutyrate.....	49
ii) Dosage des Acide Gras Non Estérifiés.....	50
iii) Contrôle laitier.....	50
iv) Dosage des Acides Gras du lait.....	50
f) Analyse des données.....	51
2) Résultats.....	52
a) Descriptif de l'échantillon d'étude.....	52
i) Mortalité des agneaux.....	52
ii) Taille de portée.....	54
iii) Sexe des agneaux à la naissance.....	55
iv) Mode d'allaitement.....	55
v) Âge des brebis.....	55
vi) Poids des brebis.....	55
vii) Note d'État Corporel des brebis.....	56
viii) Statut métabolique des brebis.....	58
(1) Dosage des Acides Gras Non Estérifiés.....	58
(2) Dosage des B-hydroxybutyrate.....	60
ix) Quantité et qualité du lait.....	62
(1) Production laitière.....	62
(2) Taux butyreux.....	63
(3) Taux protéique.....	64
(4) Rapport TB/TP.....	66
(5) Acides Gras du lait.....	67
b) Analyse de la période allaitement-traite chez la brebis.....	70
i) Influence du nombre d'agneaux sur le besoin énergétique théorique des brebis.....	70
ii) Influence du besoin énergétique théorique.....	72
(1) Sur le statut métabolique des brebis.....	72
(2) Sur les taux du lait.....	73
iii) Influence de l'âge des brebis.....	75
(1) Sur leur statut métabolique.....	75
(2) Sur la production laitière et les taux du lait.....	76
iv) Relation entre les différents indicateurs du statut métabolique et de la production laitière des brebis.....	78
c) Analyse de la période d'allaitement chez l'agneau.....	82
i) Le poids à la naissance des agneaux.....	82
(1) Influence du sexe sur le poids à la naissance des agneaux.....	83
(2) Influence de la taille de portée sur le poids à la naissance des agneaux.....	83

(3) Influence de l'âge des mères sur le poids à la naissance des agneaux...	84
(4) Relation entre le poids à la naissance des agneaux et l'état corporel des brebis.....	85
ii) La croissance des agneaux sur la période d'allaitement.....	87
(1) Influence du sexe sur le GMQ des agneaux.....	87
(2) Influence du mode d'allaitement sur le GMQ des agneaux.....	88
(3) Relation entre le poids à la naissance et le GMQ des agneaux.....	89
(4) Relation entre la croissance des agneaux allaités sous leur mère et le métabolisme des brebis.....	91
(5) Relation entre la croissance des agneaux allaités et la production laitière des mères.....	92
3) Discussion.....	94
a) La période allaitement-traite chez les brebis laitières.....	94
i) Statut métabolique des brebis laitières.....	94
ii) Production laitière des brebis.....	97
b) La croissance des agneaux pendant la phase d'allaitement-traite.....	98
c) Limites et perspectives.....	101
Conclusion.....	103
Bibliographie.....	104

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Composition moyenne du colostrum et du lait de brebis.....	22
<u>Tableau 2</u> : Composition moyenne en macronutriments des laits de brebis, vache et chèvre.....	25
<u>Tableau 3</u> : Composition moyenne du lait en acides gras estimée par spectrométrie moyenne infrarouge.....	26
<u>Tableau 4</u> : Composition moyenne du lait en protéines estimée par spectrométrie moyenne infrarouge.....	27
<u>Tableau 5</u> : Composition moyenne en minéraux et vitamines des lait de brebis, chèvre et vache.....	28
<u>Tableau 6</u> : Critères de qualité du lait (autre que le lait de vache) selon le Règlement UE 853/2004 et 2073/2005.....	29
<u>Tableau 7</u> : Grille de notation de l'état corporel des brebis.....	33
<u>Tableau 8</u> : Grille de classement de l'état d'engraissement des carcasses ovines.....	38
<u>Tableau 9</u> : Grille EUROP de classement de la conformation des carcasses ovines.....	39
<u>Tableau 10</u> : Quantité totale d'acides gras du lait aux différents contrôles laitiers.....	68
<u>Tableau 11</u> : Pourcentage moyen des différents acides gras composant le lait des 65 brebis aux différents contrôles laitiers.....	69
<u>Tableau 12</u> : Répartition des brebis selon leur besoin énergétique théorique et leur statut métabolique.....	72
<u>Tableau 13</u> : Répartition des brebis selon leur taux butyreux et protéique ainsi que le rapport des deux selon leur besoin énergétique théorique.....	74
<u>Tableau 14</u> : Taux butyreux et protéique moyens pendant la phase d'allaitement-traite en fonction de la taille de portée.....	75
<u>Tableau 15</u> : Répartition des brebis selon leur NEC évaluée à la mise-bas en fonction de leur variation de NEC sur la période allaitement-traite ($\Delta\text{NEC} = \text{NEC_Sevrage} - \text{NEC_MB}$).....	82

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Répartition de la consommation moyenne de viande cuite en France en 2019 (hors volaille et charcuterie).....	17
<u>Figure 2</u> : Cartographie de la répartition régionale des cheptels ovins laitiers et allaitants, en France, en 2022.....	18
<u>Figure 3</u> : Évolution schématique des besoins (UFL et PDI) d'une brebis laitière de 70 kg au cours d'un cycle complet.....	21
<u>Figure 4</u> : Production de lait et teneurs en matières grasses et protéiques du lait de brebis de race Lacaune au cours de la période de traite exclusive.....	23
<u>Figure 5</u> : Évolution de la production laitière en fonction du rang de lactation chez la brebis Lacaune laitière.....	24
<u>Figure 6</u> : Courbe théorique de l'évolution du poids vif en fonction du temps.....	34
<u>Figure 7</u> : Courbe de croissance relative des différents tissus de la conception au stade adulte.....	35
<u>Figure 8</u> : Schéma de l'étude expérimentale.....	49
<u>Figure 9</u> : Répartition de la mortalité des agneaux selon leur tranche d'âge (n=15).....	53
<u>Figure 10</u> : Répartition des poids à la naissance des agneaux vivants et morts (n=128).....	54
<u>Figure 11</u> : Répartition des portées selon leur taille (=nombre d'agneaux) (n=65).....	55
<u>Figure 12</u> : Distribution et moyenne (point noir) du poids des 65 brebis de la lutte au premier contrôle laitier officiel.....	56
<u>Figure 13</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs de NEC des 65 brebis de la lutte au premier contrôle laitier officiel.....	58
<u>Figure 14</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs d'AGNE des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	59
<u>Figure 15</u> : Évolution des valeurs d'AGNE des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	60
<u>Figure 16</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs de BHB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	61
<u>Figure 17</u> : Évolution des valeurs de BHB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	62
<u>Figure 18</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du TB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	63

<u>Figure 19</u> : Évolution des valeurs du TB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	64
<u>Figure 20</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	65
<u>Figure 21</u> : Évolution des valeurs du TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	66
<u>Figure 22</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du rapport TB/TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel.....	67
<u>Figure 23</u> : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction du nombre d'agneaux allaités.....	70
<u>Figure 24</u> : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction de la taille de portée.....	71
<u>Figure 25</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs d'AGNE des 65 brebis au CLal 2 en fonction du nombre d'agneaux allaités.....	73
<u>Figure 26</u> : Dispersion et moyenne (point noir) des taux moyen du lait en allaitement-traite en fonction de la taille de portée.....	74
<u>Figure 27</u> : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du dosage sanguin des BHB en fonction de la classe d'âge des 65 brebis au cours des différentes périodes de prélèvements.....	76
<u>Figure 28</u> : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction de l'âge des brebis.....	77
<u>Figure 29</u> : Dispersion et moyenne (point noir) des taux moyen du lait en allaitement-traite en fonction de l'âge des brebis.....	78
<u>Figure 30.1</u> : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 1.....	80
<u>Figure 30.2</u> : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 2.....	81
<u>Figure 30.3</u> : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 3.....	81
<u>Figure 30.4</u> : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLO 1.....	82
<u>Figure 31</u> : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction du sexe.....	83

<u>Figure 32</u> : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction de la taille de portée dont ils sont issus.....	84
<u>Figure 33</u> : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction de l'âge de leur mère.....	85
<u>Figure 34</u> : Répartition des brebis en fonction de leur NEC à la mise-bas, selon leur taille de portée (n = 65).....	86
<u>Figure 35</u> : Répartition des brebis en fonction de leur variation de NEC en fin de gestation ($\Delta\text{NEC} = \text{NEC_MB} - \text{NEC_70j.avantMB}$), selon leur taille de portée (n = 65).....	86
<u>Figure 36</u> : Distribution et moyenne du poids à la naissance des agneaux en fonction de la variation de la NEC de leur mère en fin de gestation ($\Delta\text{NEC} = \text{NEC_MB} - \text{NEC_70j.avantMB}$).....	87
<u>Figure 37</u> : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du sexe.....	88
<u>Figure 38</u> : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du mode d'allaitement.....	89
<u>Figure 39</u> : GMQ des agneaux pendant la phase allaitement-traite en fonction de leur poids à la naissance.....	90
<u>Figure 40</u> : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux, dont le poids à la naissance était inférieur à 4 kg, en fonction de leur mode d'allaitement.....	91
<u>Figure 41</u> : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction de la production laitière des brebis au premier contrôle laitier officiel).	92
<u>Figure 42</u> : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du TP moyen du lait des brebis avant sevrage).....	93

Listes des abréviations

AG	Acides gras
AGI	Acides gras insaturés
AGMI	Acides gras monoinsaturés
AGNE	Acides gras non estérifiés
AGPI	Acides gras poly-insaturés
AGS	Acides gras saturés
AGV	Acides gras volatils
ANOVA	Analysis of Variance
AOP	Appellation d'origine protégée
BHB	Bêta-hydroxybutyrate
CCS	Comptage de cellules somatiques
CLa1 1	Premier contrôle laitier d'allaitement-traite
CLa1 2	Second contrôle laitier d'allaitement-traite
CLa1 3	Troisième contrôle laitier d'allaitement-traite
CLO 1	Premier contrôle laitier officiel
CV	Coefficient de variation
ENVT	École Nationale Vétérinaire de Toulouse
GMQ	Gain moyen quotidien
IgG	Immunoglobulines G
MB	Mise-bas
MG	Mois de gestation
NEC	Note d'état corporel
NS	Non significatif
PL	Production laitière
TB	Taux butyreux
TP	Taux protéique
UFL	Unité fourragère lait
UMO	Unité de main d'oeuvre

Introduction

La période d'allaitement-traite en élevage ovin laitier est une phase critique autant du point de vue de la brebis que de celui de l'agneau. Si pour la brebis, c'est une phase d'important bouleversement métabolique, pour l'agneau, l'allaitement est crucial pour assurer une croissance et un développement sains, car le lait maternel contient tous les nutriments essentiels dont il a besoin. C'est pourtant une période assez peu documentée chez la brebis laitière qui mérite davantage d'exploration afin d'améliorer les pratiques d'élevage. Car en effet, si le revenu de l'éleveur ovin laitier repose majoritairement sur sa production laitière, la vente d'agneau est un revenu secondaire non-négligeable, entre 15% et 30% (*Idele, 2022a*). Or, les performances globales de l'élevage reposent en grande partie sur cette phase de démarrage. Pendant cette période, les agneaux vont prendre du poids et se développer rapidement. Leur croissance reflète les performances laitières, quantitatives et qualitatives des brebis. Une bonne maîtrise de l'allaitement des agneaux est essentielle pour leur survie et leur future productivité. Qu'il soit destiné à l'engraissement ou à la reproduction, il est préférable pour optimiser leur vigueur et assurer un bon rendement pour l'éleveur, d'avoir un bon démarrage de l'agneau.

La présente étude, réalisée *in vivo*, a pour objectif d'essayer de caractériser plus finement le premier mois de lactation des brebis de race Lacaune tout en s'intéressant particulièrement aux agneaux de Roquefort à l'allaitement. La période allaitement-traite chez la brebis est explorée à travers différents indicateurs de son statut métabolique, à savoir la NEC et sa variation et les dosages en AGNE plasmatiques et BHB sanguins et à travers sa production laitière avec notamment les valeurs de TB et TP ainsi que la composition fine en acides gras du lait. La partie concernant les agneaux se porte sur leur croissance pendant le mois d'allaitement et l'exploration des facteurs pouvant l'impacter. Elle est abordée selon leur poids vif à la naissance et leur GMQ calculé entre la naissance et le sevrage.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet F2E IRMA complétant le projet européen H2020 SMARTER dont l'objectif est de renforcer l'efficacité des élevages et d'améliorer la gestion intégrée de la santé. Le projet IRMA s'intéresse plus particulièrement au début de lactation, à l'allaitement-traite, période d'intérêt croissant.

PREMIERE PARTIE : Étude bibliographique

1) Contexte : la filière ovine

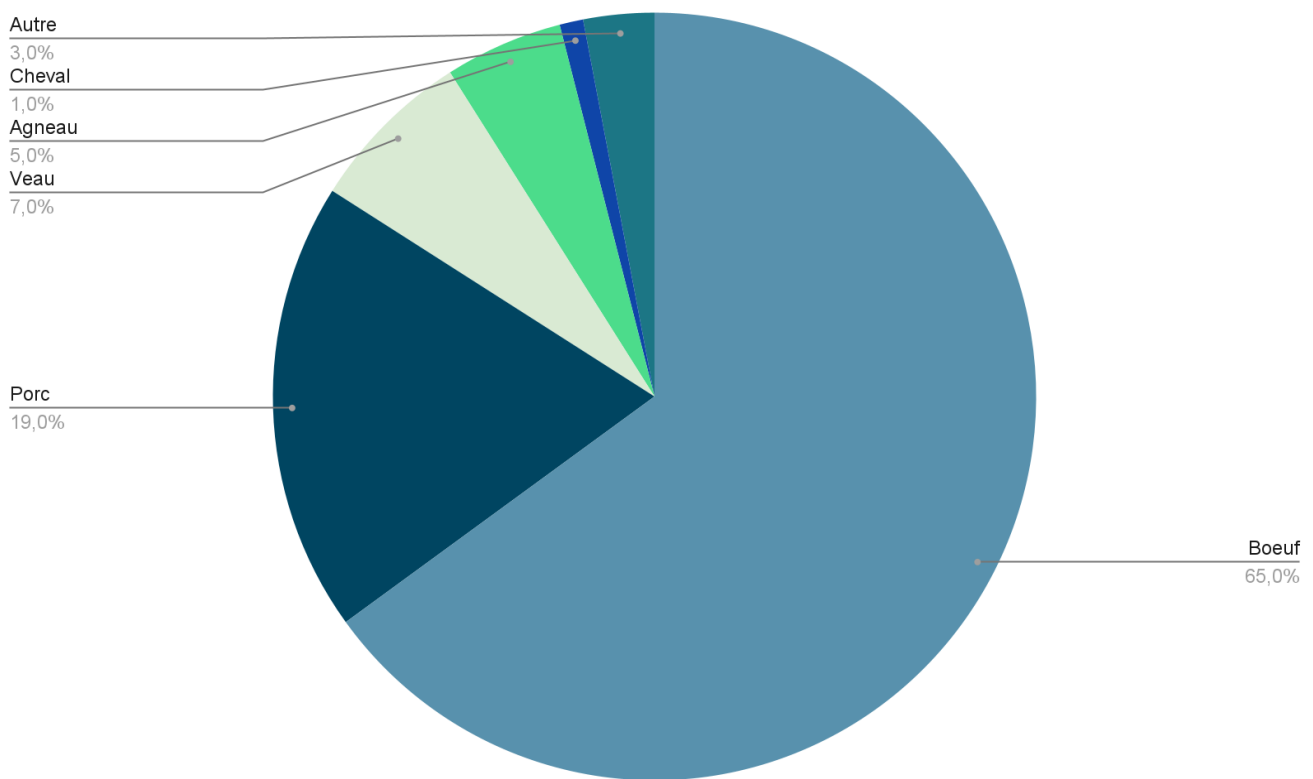
a) La filière ovine française

À l'échelle européenne, en 2021, la France conservait sa cinquième place en termes de taille de cheptel ovin derrière, dans l'ordre, l'Espagne, la Roumanie, la Grèce et l'Italie. Cependant, elle semble être également le pays le plus touché par la baisse de l'effectif ovin nationale (*Idèle, 2022b*). En 2022, le cheptel ovin français était composé de 6,3 millions de têtes, dont 4,8 millions d'allaitants et 1,5 million de laitiers. Par rapport à 2021, on observe un recul de -5% pour le cheptel laitier et -6% pour le cheptel allaitant. Cette baisse, si elle est progressive depuis les années 1980, s'est accélérée en 2022 à cause de la sécheresse estivale, à l'origine d'un manque de fourrage, accompagnée d'une hausse du prix de l'aliment, contraignant les éleveurs à réformer plus vite les brebis les moins performantes et productives. La problématique du réchauffement climatique implique que les éleveurs feront à l'avenir face à des épisodes de sécheresse de plus en plus fréquents et intenses impliquant des difficultés d'approvisionnement en ressource fourragère (*Idèle, 2023a*).

Le prix des produits issus de l'élevage ovin a poursuivi son ascension entamée en 2021 avec +2,3% pour le lait de brebis (1 056 €/1 000 L en moyenne sur la campagne 2021-2022) et +8,3% pour les agneaux (7,98 €/kg de carcasse, prix moyen à l'entrée en abattoir en France pour l'année 2022). Contrairement à d'autres produits d'élevage, ces hausses restent modestes, par exemple, entre 2021 et 2022, le prix du lait de vache a pris +20%. Néanmoins, le revenu des éleveurs, allaitants comme laitiers, a baissé entre -5 000 euros et -10 000 euros par UMO exploitant, en lien notamment avec l'augmentation des charges due à l'inflation des matières premières et intrants suite à l'invasion de l'Ukraine (*Idèle., 2023b*).

Faisons un point sur la consommation de viande ovine en France. En 2022, elle est estimée à 2,3 kg équivalent carcasse par habitant par an soit une légère hausse de +2% par rapport à 2021. Même si elle semble peu impactée par l'inflation, elle reste peu dynamique, et même diminue sur le long terme. Elle a réduit de moitié depuis les années 2000 (*Idèle, 2023b*).

C'est principalement de la viande d'agneau qui est consommée en France. En 2019, la consommation moyenne française de viande cuite, hors volaille, est de 300 g par semaine par personne, dont 5% d'agneau, ce qui reste tout de même peu (*Figure 1*). L'agneau français représente 60% des abattages ovins français contre 16% pour les adultes et 8% pour les agneaux importés (*INTERBEV, 2020*). Toutefois, la France importe toujours plus de la moitié de sa consommation. En 2022, c'est 46% de l'offre qui est issue de l'abattage français, contre 47% en 2020 et 48% en 2021. Le reste du marché est occupé par l'importation, assurée principalement par le Royaume-Uni (22% en 2022), l'Irlande (12%), l'Espagne (7%) et la Nouvelle-Zélande (8%) (*Idele, 2023b*).



*Figure 1 : Répartition de la consommation moyenne de viande cuite en France en 2019 (hors volaille et charcuterie)
Données : INTERBEV 2021*

La consommation est en partie saisonnière en association avec diverses fêtes religieuses. La consommation d'agneau est doublée au moment de Pâques puisqu'on va préparer l'agneau pascal, respectant à l'origine les traditions juives et chrétiennes. Elle connaît également un pic l'été avec notamment la célébration de l'Aïd islamique. La consommation de brebis de réforme est quant à elle plutôt étalée sur l'année

(Bergonier, 2023). Les agneaux peuvent être issus de la filière ovine allaitante ou alors être des sous-produits de la filière ovine laitière présentée succinctement ci-après.

b) La filière ovine laitière

En 2022, 86% du cheptel ovin est concentré dans le sud de la France, dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur (Figure 2). Concernant plus particulièrement le cheptel reproducteur laitier, 91% de l'effectif est réparti sur seulement six départements dont le territoire est en partie ou en totalité lié à une aire d'appellation fromagère : l'Aveyron (602 000 reproducteurs en 2020), le Tarn (117 000) et la Lozère (77 000) pour l'AOP Roquefort et nouvellement l'IGP Pérail depuis 2022, les Pyrénées-Atlantiques (532 000) pour l'AOP Ossau-Iraty et les deux départements corses (78 000) pour l'AOP Brocciu (Idele, 2023). À noter que les Pyrénées-Atlantiques et l'Aveyron regroupent à eux seuls les deux tiers des exploitations ovines laitières françaises avec comme races représentatives les Manech tête rousse, Manech tête noire et Basco-béarnaise dans les Pyrénées-Atlantiques et la Lacaune dans l'Aveyron (Idele, 2023c).

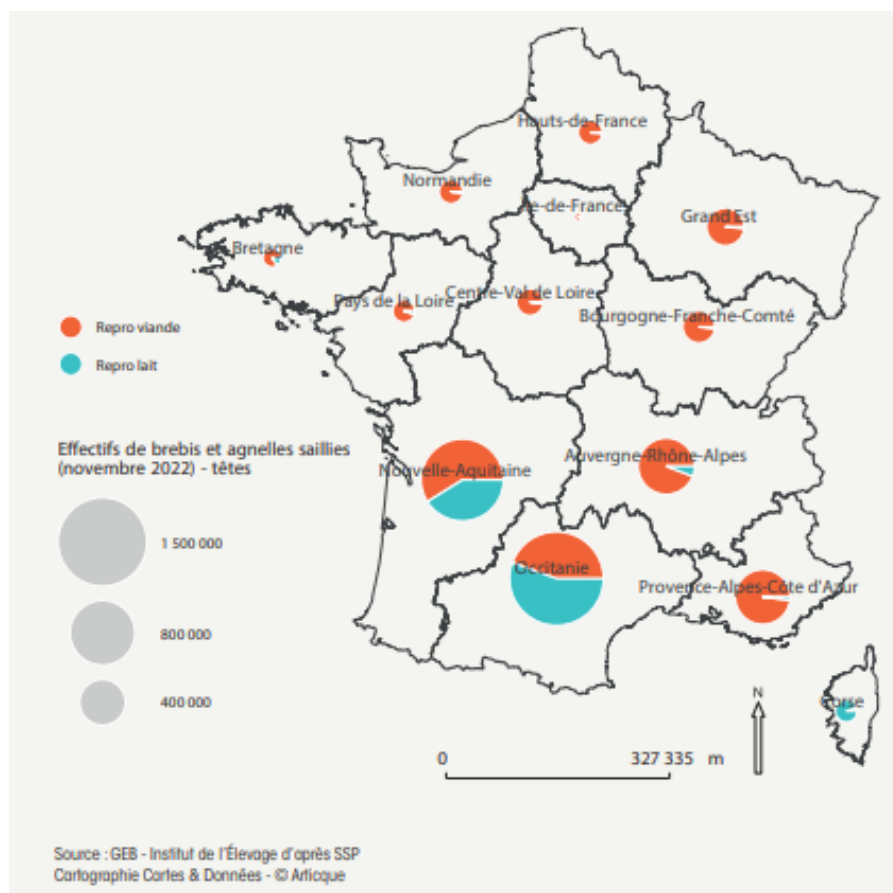


Figure 2 : Cartographie de la répartition régionale des cheptels ovins laitiers et allaitants, en France, en 2022
Source : GEB - Institut de l'Élevage d'après SSP

La collecte de lait française a diminué de -2,7% (soit -8 millions de litres), à près de 296 millions de litres sur la campagne 2021-2022, alors que depuis 2013, elle était à la hausse. En Occitanie et en Nouvelle-Aquitaine, les deux principales régions de production, les baisses ont été respectivement de -2% et -4,5%, à 219 et 67 millions de litres. Dans ces deux régions, la majeure partie de la collecte reste associée aux interprofessions régionales (*Idele, 2023b*). Dans la filière ovine laitière, l'essentiel de la production laitière sert à la production de fromage. En Occitanie, la Confédération Générale de Roquefort c'est 170 millions de litres collectés sur la campagne 2021-2022, plaçant la filière Roquefort en tête des plus gros producteurs.

c) La filière ovine Roquefort

L'AOP Roquefort existe depuis 1925 et depuis 1930 se ressemble au sein de la Confédération Générale de Roquefort. Le Roquefort, élaboré à base de lait cru, un fromage à pâte persillée au lait de brebis de race Lacaune. La filière Roquefort, c'est, en 2020, un peu plus de 16 milles tonnes de fromages produits, 1465 élevages de brebis, 8 laiteries, 7 fabricants, mais 1 savoir-faire. C'est surtout un cahier des charges à respecter (*Produits laitiers AOP, 2023*).

La production est généralement saisonnière. Dans le bassin de Roquefort, la lutte se fait au printemps pour une période de mise-bas à l'automne. 70% à 80% des brebis sont inséminées. Celles non gravides sont mises à la monte naturelle avec les agnelles de renouvellement. Ces dernières représentent entre 25% et 28% du troupeau. La taille moyenne d'une portée est de 1,5. L'objectif est une première mise-bas vers 12-13 mois. Les brebis gestantes sont au pâturage et rentrent un mois avant l'agnelage en bergerie et ne sortiront de nouveau qu'au printemps. Les naissances débutent à la fin de l'automne et s'organisent en deux lots, les naissances groupées post insémination artificielle et les naissances après monte naturelle.

Dans le cahier des charges de l'AOP Roquefort, le lait est interdit à la vente les vingt premiers jours suivant l'agnelage. Concernant les agneaux destinés à l'engraissement, ils ne peuvent être sevrés qu'à partir d'un âge minimal de 28 jours (*Arrêté du 9 avril 2021*). Pendant cette phase d'allaitement, les agneaux sont donc nourris avec le lait de leur mère qui est tout de même traite, car leur production laitière dépasse le besoin des agneaux, mais par conséquent, ce lait d'allaitement-traite n'est pas

commercialisé. Après sevrage des agneaux, les brebis sont traitées 2 fois par jour pendant 6 à 8 mois (UPRA Lacaune, 2023).

Au sevrage, les agnelles de renouvellement sont choisies, et, la plupart du temps, elles sont issues d'une insémination afin d'améliorer génétiquement le troupeau. Concernant les agneaux et les agnelles non sélectionnées, ils deviennent alors des sous-produits de la filière Roquefort. 80% de ces agneaux sont engraisés en bergerie pendant environ 80 jours (entre 2 et 3 mois) dans la zone de Roquefort et abattus à l'âge de 100 à 110 jours ; les 20% restants sont soit directement vendus en tant qu' "agneaux de lait" post-sevrage soit commercialisés hors zone. Qu'ils soient engraisés dans leur élevage d'origine possédant un atelier d'engraissement ou vendus dans un atelier externe, la vente d'agneau représente environ 15% à 30% du revenu des éleveurs laitiers (Idèle, 2022b).

2) La brebis laitière

Pendant le premier mois de lactation, c'est la phase d'allaitement-traitée, les agneaux sont laissés avec leur mère et comme évoqué précédemment, le surplus de lait est collecté mais non commercialisé. Cette période est assez peu documentée, pourtant c'est une période pivot au cours de laquelle les brebis subissent un amaigrissement important du fait de l'augmentation de leur besoin énergétique à cause de leur production laitière débutante (Figure 3). Si ce mois d'allaitement n'est pas maîtrisé correctement notamment d'un point de vue alimentaire et que l'amaigrissement est trop important alors l'éleveur encourt le risque de voir sa production laitière chuter et expose ses brebis à des troubles métaboliques. Classiquement, c'est la note d'état corporel (NEC) qui est évaluée afin de déterminer le déficit énergétique. Toutefois, l'évaluation est subjective, dépendante du jugement et de l'appréciation de l'évaluateur, cela peut entraîner des erreurs.

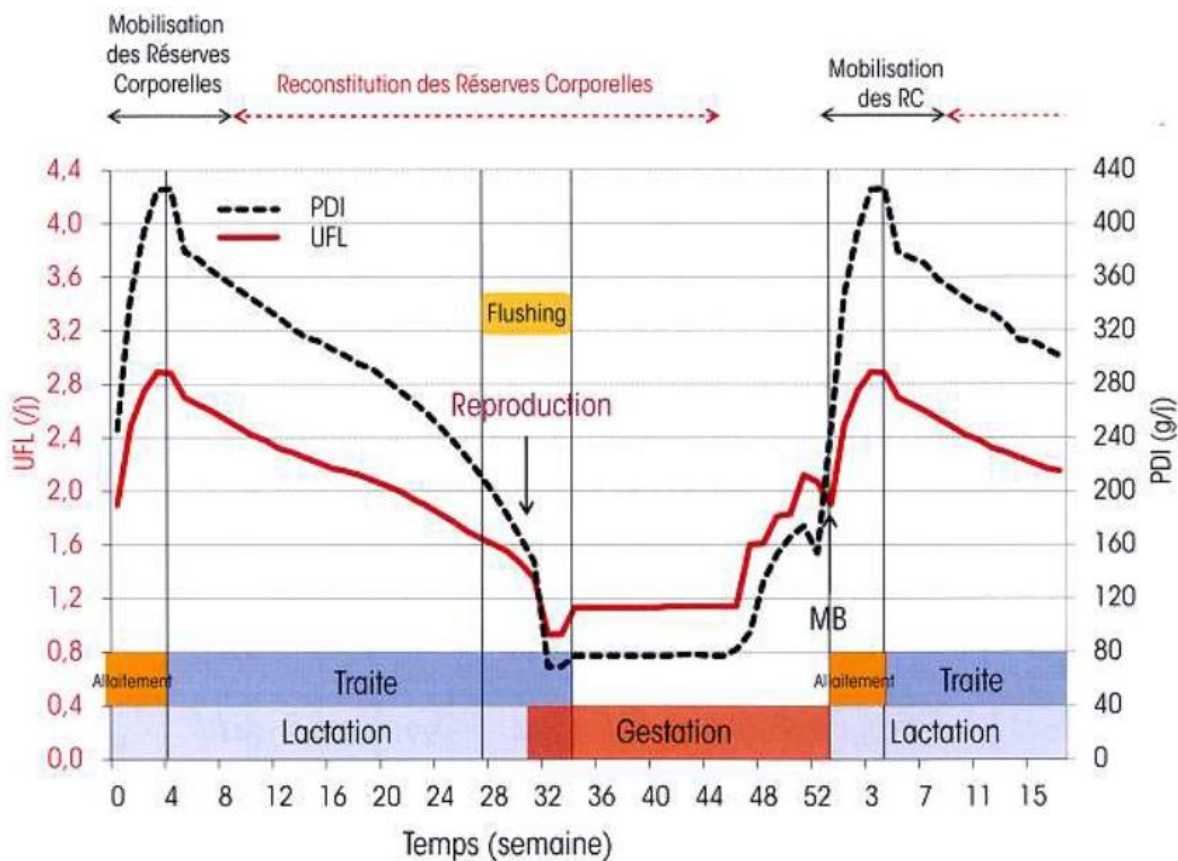


Figure 3 : Évolution schématique des besoins (UFL et PDI) d'une brebis laitière de 70 kg au cours d'un cycle complet

Source : CNBL - 2019

a) Production laitière

i) Composition du colostrum

Dans la législation, d'après le deuxième article du Décret du 25 Mars 1924, modifié et complété par le Décret du 4 Janvier 1971, le colostrum n'a pas de définition propre contrairement au lait "produit de la sécrétion mammaire normale obtenu par une ou plusieurs traites sans aucune addition ou soustraction" mais "... sera considéré comme lait impropre à la consommation humaine : ... le lait provenant d'une traite opérée moins de 7 jours après le part et, d'une manière générale, le lait contenant du colostrum."

D'un point de vue immunologique, le colostrum est une sécrétion lactée riche en immunoglobulines. Pour certains auteurs qui ne considèrent le colostrum que par rapport à l'immunité qu'il procure au nouveau-né, il ne correspond alors qu'au produit de la première traite après quoi le taux d'immunoglobulines chute ainsi que l'immunité transmise (Levieux, 1984). Pour d'autres, les six premières traites contiennent encore des résidus d'immunoglobulines, ainsi elles peuvent encore être considérées comme du colostrum puisque non-commercialisables (Foley et Otterby, 1978).

D'un point de vue biologique, le colostrum est un liquide produit dans la mamelle, jaune, visqueux, dont la composition diffère du lait (*Tableau 1*) (*Jacquet et Rousset, 2013 ; Chenevier, 2017*). En effet, le colostrum est plus concentré que le lait, plus riche en protéines et plus particulièrement en protéines solubles d'intérêts dans les premières heures de vie de l'agneau, les immunoglobulines. Le colostrum est à contrario moins riche en caséines, protéines spécifiques du lait (*Amalric, 2011*). De ce fait, le colostrum est incompatible avec les techniques fromagères, par exemple, les protéines solubles ne coagulent pas avec la présure, mais coagulent plus à la chaleur ce qui exclut l'utilisation de la pasteurisation ou stérilisation. Ceci explique l'interdiction de vente pendant la première semaine.

	Matières grasses	Protéines	Lactose	Caséines	Immunoglobulines	Matières minérales
Colostrum (g/L)	70-160	100-200	30-40	30-35	30-180	8-10
Lait (g/L)	70-75	55-60	45-55	45-50	0,5-1	8-10

Tableau 1 : Composition moyenne du colostrum et du lait de brebis

Source : Chenevier, 2017 ; Jacquet et Rousset, 2013

Le colostrum de brebis est plus riche que le colostrum de vache ou de chèvre avec une teneur en matières grasses de 7-16% contre 5-6% pour celui de vache et 4-5% pour celui de chèvre. Respectivement, pour le colostrum de brebis et celui de vache, la teneur en protéines est en moyenne de 15% et 7%, celle en lactose en moyenne de 3,5% et 3,6% et celle en minéraux en moyenne de 0,9% pour les deux (*Park et al., 2007 ; Polidori et al., 2022*). Il couvre les besoins énergétiques importants de l'agneau nouveau-né, mais également les besoins en calcium, phosphore, magnésium, sodium, potassium et zinc, mais ne couvre pas les besoins en fer, cuivre et manganèse. Il apporte également vitamines A, D et E (*Jacquet et Rousset, 2013 ; Chenevier, 2017*). Le colostrum, par rapport au lait, est très riche en immunoglobulines, la teneur étant comprise entre 30 à 180 g/L chez la brebis contre seulement 50 à 70 g/L chez la vache et la chèvre. 75% à 92% de ces immunoglobulines sont des IgG chez les ruminants (*Levieux, 1984 ; Park et al., 2007*).

ii) Production et composants principaux du lait de brebis

Les trois principaux constituants organiques du lait sont la matière grasse, les protéines et le lactose de valeurs caloriques respectives 9,39, 5,47 et 3,95 kcal/g dont la somme donne la valeur énergétique brute du lait. Par ailleurs, on définit le lait standard comme la production théorique qui permet ainsi la comparaison des performances entre

individus. Pour une brebis, le lait standardisé a été calculé à 1 207 kcal/kg ou encore 0,686 UFL/kg comprenant 76 g/L de matières grasses et 55 g/L de matières protéiques. La qualité et la quantité du lait varient selon l'animal et selon le stade de lactation (*Figure 4*) (*Hassoun et al., 2018 ; Sauvant et al., 2018*).

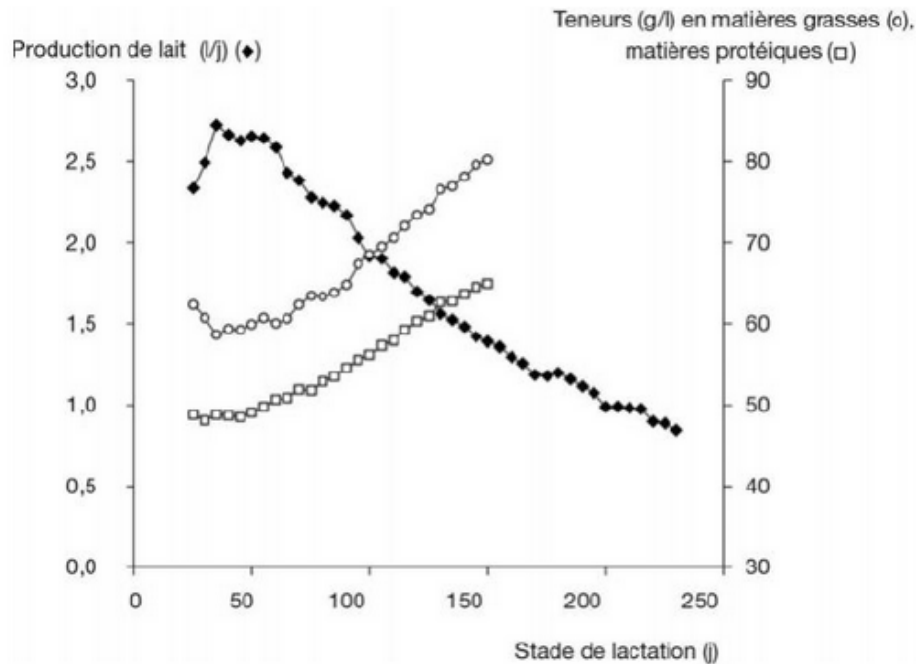
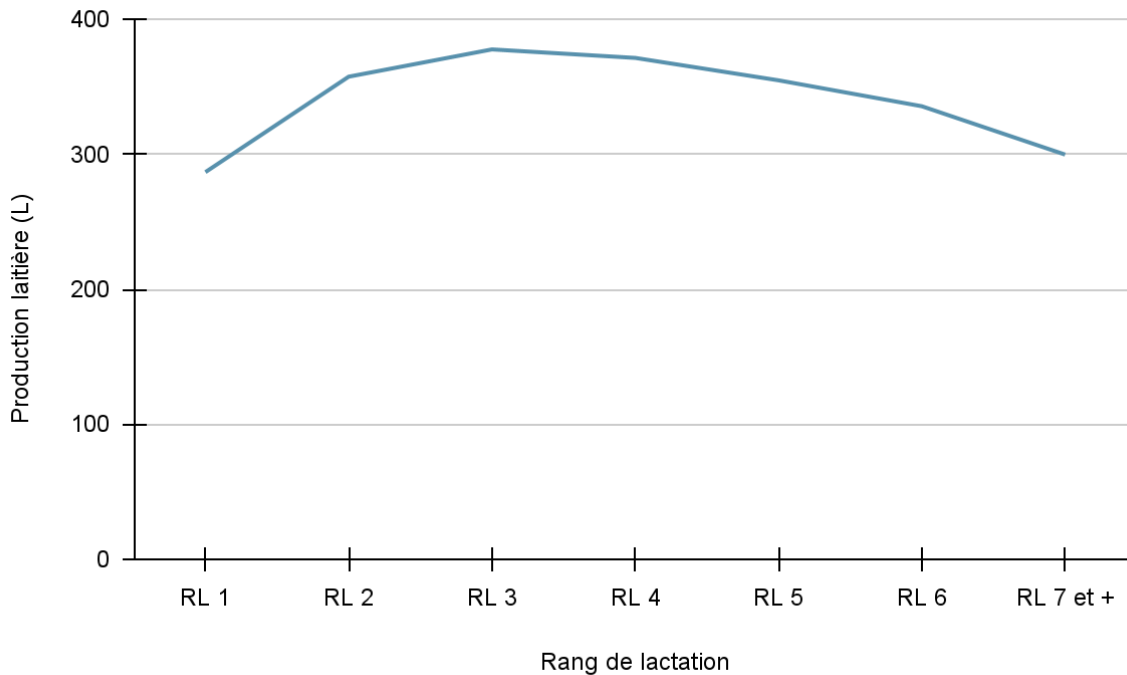


Figure 4 : Production de lait et teneurs en matières grasses et protéiques du lait de brebis de race Lacaune au cours de la période de traite exclusive
Source : Hassoun et al., 2018

La productivité moyenne des brebis Lacaune laitière est de 330 (\pm 102) L de lait en 173 (\pm 40) jours de lactation (*Boissieu et al., 2019*). Le pic de production a lieu généralement au cours du premier mois de lactation (*Figure 4*). La production varie selon différents facteurs. Outre l'alimentation, elle dépend du rang de lactation, par exemple, pour une brebis Lacaune laitière, la production laitière augmente jusqu'au 3e rang de lactation puis diminue progressivement (*Figure 5*). De plus, la taille de portée peut influencer sur la quantité de lait produit. Plus la portée est grande, plus le pic de lactation est précoce et plus la fréquence de tétée est importante, ainsi les vidanges répétées impliquent une stimulation hormonale et une suppression du frein à la production (*Rigal, 1994*).



*Figure 5 : Évolution de la production laitière en fonction du rang de lactation chez la brebis Lacaune laitière
Données : Idele, 2020*

Le lait se caractérise entre autres par sa teneur en matière grasse, appelée taux butyreux (TB) et sa teneur en matière protéique, appelée taux protéique (TP).

Le TB est en moyenne de 75 g/L en race Lacaune laitière (Amrein et al., 2013). Il peut varier selon divers critères. Il est plus élevé chez une multipare qu'une primipare. Il est également race dépendant, une brebis Manech Tête Rousse a un TB plus bas (en moyenne, 65 g/L) (PhénoFinlait, 2012). De plus, comme le montre la Figure 4, le TB évolue au cours de la lactation, il augmente pour passer d'environ 60 g/L en début de lactation commerciale à environ 80 g/L à 150 jours de lactation.

Le TP est en moyenne de 56 g/L en race Lacaune laitière (Amrein et al., 2013). De même que le TB, il peut varier selon divers critères. Il est aussi plus élevé chez une multipare qu'une primipare. Il est également race dépendant, une brebis Manech Tête Rousse a un TP plus bas (en moyenne, 52 g/L) (PhénoFinlait, 2012). Et comme le montre la Figure 4, le TP évolue au cours de la lactation, il augmente pour passer d'environ 50 g/L en début de lactation commerciale à environ un peu plus de 65 g/L à 150 jours de lactation.

Concernant la composition, le lait de brebis est plus riche qu'un lait de vache ou de chèvre (Tableau 2). Cette composition varie selon une multitude de facteurs dont le plus important est le régime alimentaire, mais elle dépend aussi de façon non-exhaustive de la race, de l'individu, de la parité, du stade de lactation, de l'état de santé de la mamelle dont va dépendre le taux de cellules, de la saison en lien avec les conditions climatiques et donc

l'alimentation ... etc (*Park et al., 2007 ; Novotna et al., 2009*). La composition fine du lait sera par la suite abordée plus en détail.

	Brebis	Vache	Chèvre
Matière grasse (%)	7,9	3,6	3,8
Lactose (%)	4,9	4,7	4,1
Protéines (%)	6,2	3,2	3,4
Caséine (%)	4,2	2,6	2,4
Albumine globuline (%)	1,0	0,6	0,6
Azote non protéique (%)	0,8	0,2	0,4
Cendres (%)	0,9	0,7	0,8
Calories / 100 mL	105	69	70

*Tableau 2 : Composition moyenne en macronutriments des laits de brebis, vache et chèvre
Source : Jenness, 1980*

iii) Composition fine du lait

(1) Eau

Si le lait de brebis est plus riche en graisses et en protéines, il n'est composé qu'à 80% d'eau contrairement aux laits de vache et de chèvre qui sont moins concentrés avec 87% d'eau (*Raynal-Ljutovac et al., 2008*).

(2) Matière grasse

Comme évoqué précédemment, le lait de brebis est particulièrement riche en matière grasse, plus que le lait de vache ou de chèvre (*Raynal-Ljutovac et al., 2008*). 98% de cette matière grasse se compose de triglycérides, les 2% restants étant des phospholipides et des glycolipides (*Park et al., 2007*). On retrouve les lipides sous forme de globules gras qui sont des associations de triglycérides au sein d'une membrane de phospholipides et de lipoprotéines. Un triglycéride, comme son nom l'indique, est composé de 3 acides gras associés à un glycérol. Chaque acide gras se compose d'une chaîne hydrocarbonée terminée par une fonction acide carboxylique. Ces acides gras peuvent être mono- ou poly-insaturés (AGMI ou AGPI), c'est-à-dire posséder une ou plusieurs doubles liaisons entre les carbones, ou alors être saturés (AGS) et n'avoir que des liaisons simples. On peut également qualifier les AGPI d'oméga-3 ou d'oméga-6 selon la position de la première double liaison carbone (en troisième ou sixième position à partir de la terminaison -CH₃) (*PhénoFinlait, 2012*).

Le lait de brebis contient plus de 35 acides gras primordiaux qui peuvent être répertoriés en 3 catégories : les acides gras à courte chaîne (4 à 12 carbones) ; les acides gras à moyenne chaîne (14 à 16 carbones) ; les acides gras à longue chaîne (18 carbones ou plus) (*Goudjil et al., 2004*). La synthèse des acides gras à courte et moyenne chaîne se fait à partir des acides gras volatils (AGV) issus de la digestion ruminale, avec principalement l'acétate (85%) puis le butyrate (10-15%) et le propionate (< 1%). Les acides gras à moyenne chaîne peuvent également être directement apportés par la ration, tout comme les acides gras à longue chaîne. Ces derniers peuvent également provenir du tissu adipeux et donc de la mobilisation des réserves corporelles en cas de déficit énergétique. Cinq acides gras représentent à eux seuls plus de 75% des acides gras totaux, à savoir l'acide caprique (C10:0), l'acide myristique (C14:0), l'acide palmitique (C16:0), l'acide stéarique (C18:0) et l'acide oléique (C18:1) (*Park et al., 2007*). Le *Tableau 3* reprend les principaux composants de la matière grasse du lait des brebis.

	AGS	AGMI	AGPI	C14:0	C16:0	C18:1
% race Lacaune (± écart-type)	74,2 (4,1)	19,3 (3,7)	4,4 (0,7)	15,3 (1,8)	24,9 (3)	12,8 (3,3)

Tableau 3 : Composition moyenne du lait en acides gras estimée par spectrométrie moyenne infrarouge

Source : PhénoFinlait, 2012

(3) Matière protéique

Le lait de brebis contient des protéines de haute qualité et est riche en acides-aminés essentiels (*Mohapatra et al., 2019*). On retrouve les protéines non-spécifiques du lait qui sont des protéines solubles (protéines du lactosérum) représentant 20% des protéines totales. Les principaux représentants sont l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline et dans une moindre mesure, les protéines de liaisons lactoferrine et transferrine (*Pellegrini et al., 1994*). L' α -lactalbumine est connu pour son rôle primordial dans la synthèse du lactose en agissant sur l'activité de la galactosyl transférase. Cela permet d'accélérer le transfert de galactose sur les glucoses formant ainsi le lactose. La β -lactoglobuline aurait un rôle dans la stimulation des lipases péri-gastriques, facilitant la digestion des lipides du lait chez les jeunes mammifères.

Les protéines spécifiques de lait représentent 80% des protéines totales et ce sont les caséines. Ce sont des phosphoprotéines constituées d'une partie protéique et d'une partie minérale. Il existe 4 types de caséines. Tout d'abord, les caséines α S1 et α S2 qui sont fortement sensibles au calcium. Instables en présence de calcium, elles vont entraîner la formation de la phase coagulum et lactosérum du lait. Il y a ensuite les caséines β sensibles

au calcium seulement à température ambiante. Pour terminer, il y a les caséines κ , insensibles au calcium assurant la stabilité de la micelle en périphérie. Une micelle est une association de sous-micelles qui eux-mêmes sont des agrégats de caséines (Brugère, 2021). Les caséines permettent la transmission de nutriments et notamment de minéraux. Les micelles de caséines sont naturellement riches en minéraux. Elles sont principalement associées au phosphate de calcium, indispensable au bon développement osseux chez les jeunes individus.

Le *Tableau 4* reprend les principaux composants de la matière grasse du lait des brebis.

	Caséine κ	Caséine $\alpha S1$	Caséine $\alpha S2$	Caséine β	α -Lactalbumine	β -Lactoglobuline
% race Lacaune (\pm écart-type)	8,6 (0,5)	25,4 (0,9)	10,7 (1,7)	35,0 (2,5)	2,9 (0,5)	8,7 (0,5)

*Tableau 4 : Composition moyenne du lait en protéines estimée par spectrométrie moyenne infrarouge
Source : PhénoFinlait, 2012*

(4) Glucides

Le lactose est le principal glucide du lait (soit 49%). Il est synthétisé dans la mamelle à partir de galactose et de glucose lui-même obtenu grâce au propionate (C3), principal précurseur de la néoglucogenèse hépatique, obtenu après digestion ruminale (Raynal-Ljutovac et al., 2008). Au fil de la lactation, la teneur en lactose a tendance à baisser *a contrario* du TB et du TP (Park et al., 2007).

Les autres glucides présents en faible quantité sont des oligosaccharides, des glycopeptides, des glycoprotéines et des sucres nucléotidiques (Park et al., 2007).

(5) Vitamines et minéraux

Le lait de brebis est riche en vitamines et minéraux, de manière générale plus que le lait de vache ou le lait de chèvre (*Tableau 5*).

Minéraux	Brebis	Chèvre	Vache	Vitamines	Brebis	Chèvre	Vache
Ca (mg/100 g)	197,5	130	112	Vitamine A (µgRE/100 g)	64	54,3	37
P (mg/100 g)	141	109	91	Vitamine B1 (mg/100 g)	0,08	0,068	0,045
Mg (mg/100 g)	18	16	12	Vitamine B2 (mg/100 g)	0,376	0,21	0,16
K (mg/100 g)	138	185,5	145	Vitamine B3 (mg/100 g)	0,416	0,27	0,08
Na (mg/100 g)	39	39,5	42	Vitamine B5 (mg/100 g)	0,408	0,31	0,32
Cl (mg/100 g)	160	150	100	Vitamine B6 (mg/100 g)	0,08	0,046	0,042
S (mg/100 g)	29	28	32	Vitamine B8 (µg/100 g)	2,5	1,75	2,0
Fe (mg/100 g)	0,08	0,07	0,08	Vitamine B9 (µg/100 g)	5,0	1,0	5,0
Cu (mg/100 g)	0,04	0,05	0,06	Vitamine B12 (µg/100 g)	0,712	0,065	0,375
Mn (mg/100 g)	0,02	0,03	0,007	Vitamine C (mg/100 g)	4,16	1,29	0,94
Zn (mg/100 g)	0,6	0,43	0,4	Vitamine D (µg/100 g)	0,2	0,2	0,15
Se (µg/100 g)	1,0	1,33	0,96				

*Tableau 5 : Composition moyenne en minéraux et vitamines des lait de brebis, chèvre et vache
Sources : Park et al., 2007 ; Raynal-Ljutovac et al., 2008 ;Nguyen, 2022*

(6) Cellules

Les principales cellules somatiques retrouvées dans le lait sont les cellules inflammatoires, première ligne de défense en cas d'infection, et les cellules épithéliales, issues du renouvellement physiologique des tissus de la glande mammaire. En cas d'infection de la mamelle, une réponse inflammatoire se met en place ce qui conduit à l'augmentation du nombre de cellules inflammatoires dans le lait et donc du nombre de cellules somatiques. Ainsi, le comptage des cellules somatiques (CCS) est un indicateur de la santé mammaire. Une augmentation du CCS implique une baisse de la quantité et de la qualité du lait puisque toute inflammation de la mamelle induit une diminution de l'activité de synthèse au profit d'une hausse de la filtration. Le lait sera alors moins riche en matière grasse, caséine et lactose et donc moins intéressant d'un point de vue nutritif et transformation fromagère (Brugère, 2021).

Au niveau du droit public, uniquement la teneur en germe et la présence de résidus de substances inhibitrices sont définies pour le contrôle de la qualité du lait de brebis, mais pas le comptage cellulaire (*Tableau 6*). Pourtant, le critère CCS impacte le paiement du lait à la qualité. En effet, il doit être interprété tout comme il l'est pour le lait de vache à savoir qu'un comptage cellulaire élevé est synonyme de mammite subclinique ce qui a un impact considérable d'un point de vue économique (pénalité au paiement, chute de production) (*Amrein et al., 2013*).

Critère	Exigence
Nombre de germes à 30°C (par mL)	< 1 500 000 et < 500 000 si le lait est destiné à la fabrication de produits au lait cru sans traitement thermique
Substances inhibitrices	non détectables

Tableau 6 : Critères de qualité du lait (autre que le lait de vache) selon le Règlement UE 853/2004 et 2073/2005

La moyenne arithmétique annuelle de CCS de tank à l'échelle nationale est de 700 000 cellules/mL et est stable depuis les années 90. Les moyennes de CCS des brebis laitières sont élevées en début de lactation minimale en janvier-février pour repartir légèrement à la hausse jusqu'en juillet (*De Cremoux et al., 1997*).

À l'échelle du bassin de Roquefort, cette moyenne est en baisse, avec un CCS de tank entre 500 000 et 550 000 cellules/mL, contre 900 000 cellules/mL dans les Pyrénées Atlantiques. Cette différence s'explique par une meilleure réactivité dans le bassin de Roquefort et une meilleure prise en charge (réforme, traitements hors lactation, amélioration de l'hygiène de traite et de l'alimentation). De plus, depuis 2006, le CCS est maintenant pris en compte comme critère de sélection. D'un point de vue génétique, la recherche se porte sur le gène SOCS2 (*Bergonier, 2023*).

La mutation naturellement présente sur le gène SOCS2 (R96C) chez la brebis laitière a une effet pléiotrope, concernant plusieurs caractères d'intérêt. La mutation T est associée à une augmentation de la croissance et de la production laitière mais également à une inflammation de la mamelle plus importante. Il a été démontré que les différences de poids et de taille sont respectivement de +18% et +24% en faveur des individus homozygotes T/T en comparaison avec les individus sauvages C/C. Quant à la production laitière, elle a été estimée à +4,4% pour les individus homozygotes T/T. En revanche, ces derniers tendent à une prédisposition à la mammite et donc à l'augmentation des cellules dans le lait. Concernant les individus hétérozygotes C/T, leurs résultats semblent intermédiaires (*Rupp et al., 2015 ; Oget, 2019*). La sélection selon le CCS implique qu'au fur

et à mesure sont gardées des brebis avec un CCS bas. De ce fait l'allèle T plutôt associé à un CCS élevé, et donc défavorable, tend à disparaître.

Le lait de brebis est fondamentalement différent du lait des autres ruminants, il est plus riche. Chez la brebis laitière, la traite exclusive ne débute qu'après le sevrage des agneaux. Toutefois, la production laitière s'accroît très rapidement au cours du premier mois d'allaitement-traite, comme évoqué précédemment. C'est une période cruciale où la brebis doit être bien préparée afin de faire face aux changements métaboliques et physiologiques qui ont lieu autour de la mise-bas à l'origine d'un déficit énergétique.

b) Le déficit énergétique autour de la mise-bas

Les besoins énergétiques de la brebis laitière varient au cours d'un cycle reproductif, mais les apports également. En fin de gestation et en début de lactation, les besoins énergétiques augmentent rapidement. Au besoin d'entretien, s'ajoutent les besoins nécessaires pour le développement important du ou des foetus pendant le dernier tiers de gestation (+30% à +40% puisque 70% de la croissance foetale a lieu au cours des 6 dernières semaines de gestation) et les besoins pour le démarrage de la production laitière et l'atteinte du pic de lactation (*Adjou, 2012*).

Après l'agnelage, les besoins énergétiques passent directement de 1 UFL à 2 UFL en seulement quelques jours (*Hassoun et al., 2018 ; Sauvant et al., 2018*). En parallèle, la capacité d'ingestion diminue à cause de la place qu'occupe l'utérus dans l'abdomen, ce qui diminue la place disponible pour la réplétion du rumen, et ce d'autant plus que la portée est grande. La capacité d'ingestion ne redevient maximale que 4 à 5 semaines après la mise-bas (*Hassoun et al., 2018 ; Sauvant et al., 2018*). De ce fait, la brebis est incapable de répondre à ses besoins uniquement via l'alimentation, se crée donc un déficit énergétique physiologique. Pour combler ce déficit, la brebis va mobiliser ses propres réserves graisseuses, c'est la lipomobilisation. Elle débute lors du dernier mois de gestation et s'intensifie durant les deux premiers mois de lactation. Durant les autres phases du cycle reproductif, les réserves se reconstituent (*Figure 3*).

Les mécanismes sont assez peu documentés chez les petits ruminants (*Hassoun et al., 2018 ; Sauvant et al., 2018*). La lipomobilisation provoque la libération d'acides gras non estérifiés (AGNE) dans la circulation sanguine par hydrolyse des triglycérides contenus dans le tissu adipeux (*Chilliard et al., 1998*). Ces acides gras, captés par le foie, mènent, à la suite d'oxydations successives, à la formation d'acétyl-coenzyme A,

utilisé dans le cycle de Krebs pour la formation d'ATP. Cependant, ce processus entraîne une importante cétonogénèse qui aboutit à la formation de corps cétoniques et notamment de β -hydroxybutyrate (BHB), qui est également un marqueur courant de cétose (ou toxémie de gestation) (*Bobe et al., 2004 ; Ribeiro, 2014*).

D'un autre côté, la baisse de capacité d'ingestion implique une diminution de matière organique fermentescible dans le rumen, ce qui n'apporte pas suffisamment d'énergie aux microorganismes du rumen qui synthétisent alors moins de protéines. Moins de protéines dans l'intestin amène à une baisse de la synthèse protéique dans la mamelle. Par ailleurs, la mobilisation des réserves graisseuses implique une libération plus ou moins massive d'acides gras longue chaîne qui sont les acides gras les plus abondants dans la structure des triglycérides du tissu adipeux. Ainsi, une restriction énergétique entraîne une variation du TB et du TP, le TB ayant tendance à rester stable ou à augmenter et le TP à diminuer (*Gozlan, 2014*). Plus généralement, le TB est corrélé négativement au bilan énergétique des brebis et le TP lui, est corrélé positivement à celui-ci (*Bocquier et Caja, 2001*).

Pour résumer tout comme une vache laitière, en cas de déficit énergétique chez la brebis laitière, il y a une augmentation des marqueurs métaboliques suivants, AGNE, BHB et TB ainsi qu'une diminution du TP. Le risque métabolique majeur qui en découle en fin de gestation, est la toxémie de gestation, affection métabolique des brebis trop maigres ou trop grasses caractérisée par un déficit en glucose sanguin et une accumulation de corps cétoniques. Ils sont toxiques à forte dose et peuvent entraîner une acidose métabolique sévère. Dans le cas des brebis trop grasses, l'hypothèse est que leur régime trop riche est responsable d'une diminution des capacités métaboliques des cellules hépatiques par surcharge. Cela entraîne une baisse de la néoglucogénèse hépatique qui fournit en temps normal le glucose nécessaire à l'organisme puisque l'essentiel des glucides alimentaires se transforment en acides gras volatils dans le rumen. Ainsi, la brebis trop grasse peut faire face à un déficit en glucose et donc à une cétose (*Adjou, 2012*).

Tout comme la cétose de la vache laitière, le diagnostic de toxémie peut se faire par dosage des BHB dans les urines dans un premier temps, puis dans le sang, la cétonémie étant plus tardive. Les corps cétoniques peuvent également être dosés dans le lait, mais le dosage sanguin reste la méthode classiquement employée en élevage au chevet de l'animal. Toutefois, les seuils individuels sont moins bien documentés que chez la vache laitière. Il n'y a pas de consensus et les avis divergent entre auteurs. Pour certains, il y a possiblement une toxémie de gestation clinique grave si le dosage des BHB est supérieur à 2 - 3 mmol/L. Pour d'autres, c'est à prendre en considération dès que le dosage est

supérieur à 1,5 mmol/L. Toutefois, il semble que le seuil d'alerte soit bien plus bas. Dans l'idéal, il faut obtenir un dosage inférieur à 0,8 mmol/L, auquel cas, il y a un risque de toxémie subclinique et des mesures correctives notamment alimentaires doivent être mises en place. Au-delà de 3 mmol/L, on peut parler de toxémie clinique. Si les BHB sont dosés dans un groupe d'individus, un dosage moyen inférieur à 0,8 mmol/L sera considéré comme normal et un dosage moyen supérieur à 1 mmol/L sera considéré comme indicateur d'un problème dans le troupeau (*Araujo et al., 2020 ; Schelcher, 2023*).

Hormis les dosages des AGNE ou des BHB, il est possible d'objectiver la lipomobilisation à travers l'amaigrissement en évaluant la note d'état corporel (NEC). Elle permet d'apprécier l'état musculaire et adipeux des brebis. En élevage ovin laitier, les techniciens d'élevage évaluent la NEC avant la mise-bas et avant la lutte pour apprécier l'état général du troupeau, pour conseiller l'éleveur et adapter la ration. Pour attribuer une NEC à une brebis, il faut palper la région lombaire afin de juger les réserves corporelles. Une grille de notation existe pour la NEC, les notes allant de 0 (cachexie mortelle) à 5 (très grasse) (*Tableau 7*), mais l'évaluation reste fortement dépendante de la formation et de l'expérience de l'opérateur (*Sagot et Pottier, 2011*). L'idéal est d'avoir une NEC de 3,0 à 3,5 en fin de gestation et de ne pas descendre en dessous une NEC de 2,0 à 2,5 au sevrage et donc de ne pas perdre plus d'un point de NEC (*Hassoun et al., 2018 ; Sauvart et al., 2018*).






Note	Schéma	Description
0 (brebis cachectique)		- brebis cachectique en train de mourir
1 (brebis très maigre)	NEC 1 	- apophyses épineuses et transverses saillantes et pointues - les doigts passent facilement sous les apophyses et entre elles - absence de couverture graisseuse
2 (brebis assez maigre)	NEC 2 	- apophyses épineuses et transverses arrondies et sans viscosité - il est possible d'engager les doigts sous l'extrémité des apophyses transverses - épaisseur du muscle moyen - couverture graisseuse moyenne
3 (brebis en état)	NEC 3 	- apophyses épineuses arrondies formant de très légères ondulations souples - apophyses transverses bien couvertes - individualisation et distinction des os sous forte pression des doigts - muscles pleins - couverture graisseuse modérée
4 (brebis grasse)	NEC 4 	- apophyses épineuses formant une ligne - impossibilité de sentir les apophyses transverses - muscles pleins - épaisse couverture graisseuse
5 (brebis obèse)	NEC 5 	- apophyses épineuses et transverses indétectables - muscles très pleins - couverture graisseuse dense

Tableau 7 : Grille de notation de l'état corporel des brebis

Source : Sagot et Pottier, 2011

3) La croissance des agneaux : physiologie et facteurs de variation

a) La croissance des agneaux

Quand il s'agit de croissance, il faut bien distinguer deux aspects : la croissance à proprement parler, aspect quantitatif et le développement tissulaire, aspect qualitatif (*Dudouet, 1997*). La croissance, au sens strict, fait écho à une notion d'augmentation de la matière vivante en termes de volume et de poids, soit à la simple multiplication des cellules et des tissus. Le développement lui, est une notion plus complexe qui implique des modifications physiologiques et morphologiques permettant à l'ensemble de l'organisme d'être fonctionnel (*Fraysse, 1992*).

En théorie, l'évolution du poids vif en fonction du temps peut se résumer en une courbe sigmoïdale (*Figure 6*), c'est-à-dire que l'on peut observer deux phases distinctes : une première phase de croissance rapide, caractérisée principalement par un gain important de volume et de poids sur une courte période et une deuxième phase de croissance lente, caractérisée surtout par un développement important s'étalant sur le long terme. À la fin de la seconde phase de croissance, l'agneau atteint l'âge adulte et la croissance se stabilise. Le point d'inflexion de la courbe de la *Figure 6* séparant les deux phases correspond à la puberté, qui intervient environ à l'âge de 6 mois, âge auquel l'agneau fait un tiers de son poids (*Dudouet, 1997*).

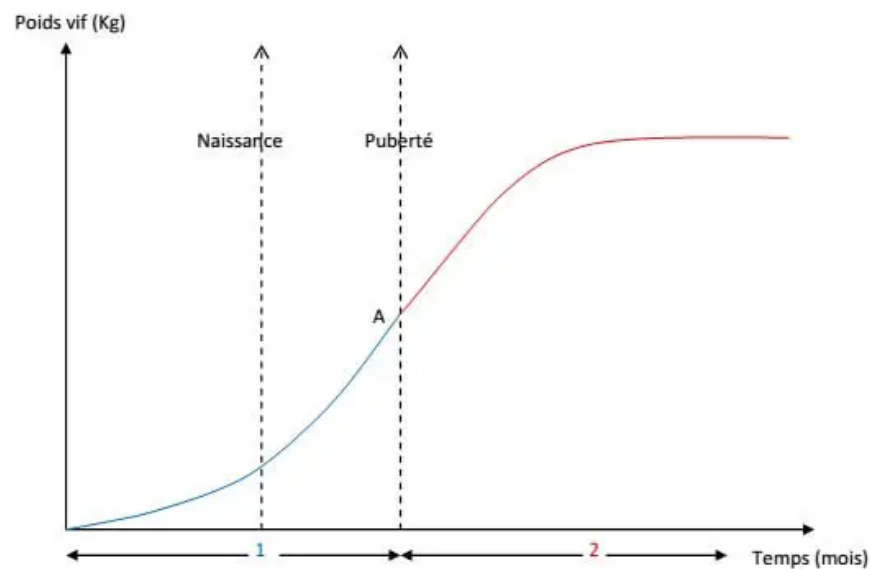
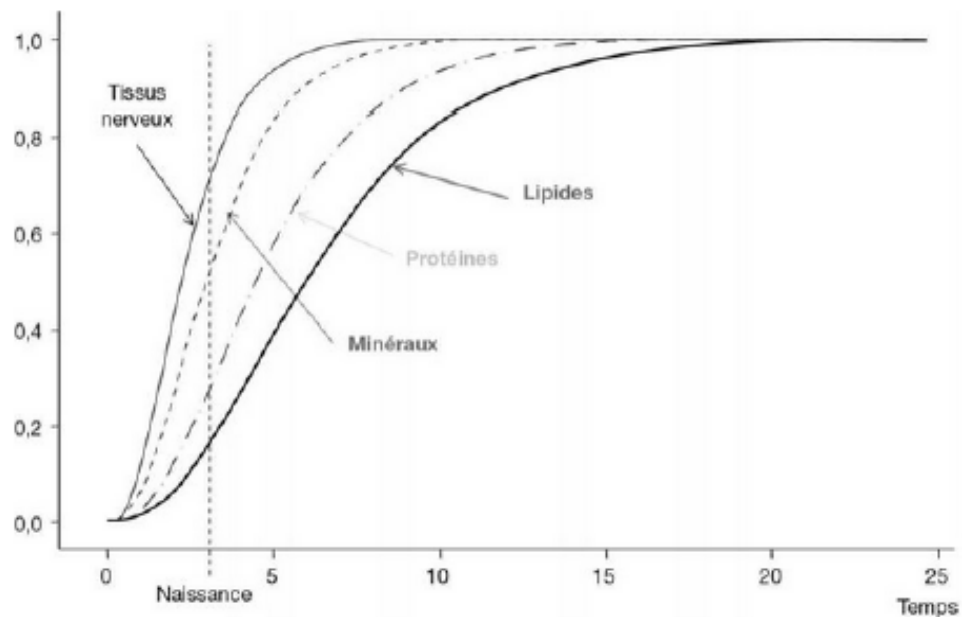


Figure 6 : Courbe théorique de l'évolution du poids vif en fonction du temps (1 : croissance rapide ; 2 : croissance lente ; A : puberté)
Source : DUDOUET, 1997

La croissance prénatale ou in-utero peut se subdiviser en trois phases : la phase zygotique, de l'oeuf à la nidation, période où le nombre de cellules double à chaque division ; la phase embryonnaire, période de développement des organes, du 10e au 34e jour de gestation ; la phase foetale (*Frayse, 1992*).

Comme le montre la *Figure 7*, la croissance se fait par vague dont la première correspond aux tissus nerveux qui commencent à se développer avant la naissance. La seconde vague correspond à la croissance osseuse et aux dépôts de minéraux et la troisième au développement musculaire dont le point d'inflexion correspond approximativement à la puberté. La quatrième et dernière vague plus tardive correspond à la mise en place des lipides et des graisses dont le maximum s'atteint à la maturité (*Hassoun et al., 2018*). Avec le vieillissement, c'est le tissu conjonctif qui prolifère le plus.

Cela influe bien évidemment sur la qualité de la carcasse qui évalue la proportion de viande maigre par rapport aux tissus gras, osseux et viscéraux.



*Figure 7 : Courbe de croissance relative des différents tissus de la conception au stade adulte
Source : Hassoun et al., 2018*

La qualité et le prix de la carcasse dépendent du poids, de la conformation et de l'état d'engraissement. Par exemple, la viande d'agneau se compose de muscles, de graisses intramusculaires, mais elle est également présentée avec une part non-négligeable de graisse de couverture compensant la faible dimension musculaire. Elle est une source de protéines de grande qualité et de micronutriments d'intérêt comme le fer, le zinc, le sélénium et les vitamines de types B3, B6 et B12. De plus, la viande d'agneau est beaucoup plus riche que la viande bovine en acides linoléiques conjugués et en AGPI oméga 3. Ces acides gras seraient intéressants vis à vis de certaines pathologies cardiovasculaires et tumorales. Enfin, la flaveur (ensemble des sensations olfactives, gustatives et tactiles ressenties lors de la dégustation d'un produit alimentaire) est une caractéristique organoleptique des plus importantes pour le consommateur. Dans la viande d'agneau, les composés responsables de la flaveur typique sont issus de la graisse. Il s'agit notamment des acides 4-méthyl-octanoïque et 4-méthyl-nonanoïque (*Prache et Bauchart, 2015*).

Le tissu adipeux, contrairement au tissu musculaire, comme abordé précédemment, se développe tardivement et rapidement. Divers facteurs impactent l'adiposité corporelle : la maturité (plus une viande est mature, plus elle est grasse), le sexe (les mâles déposent moins de graisse que les femelles, mais la castration favorisera le dépôt de graisse), le poids à la naissance (un agneau léger sera plus gras ensuite) mais aussi la quantité et la

qualité des apports alimentaires. Une baisse des apports énergétiques réduit la vitesse de croissance et peut également diminuer l'adiposité. Par ailleurs, une ration trop pauvre en azote par rapport à la quantité d'énergie réduit la vitesse de croissance, mais favorise le stockage de lipide et à l'inverse, une ration trop riche en azote par rapport à la quantité d'énergie peut réduire la vitesse de croissance mais n'impactera pas l'état d'engraissement (Lebret *et al.*, 2015).

b) Paramètres de performance des ovins allaitants



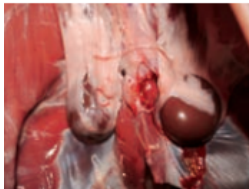

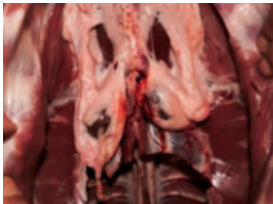
Divers paramètres permettent d'évaluer les performances de croissance des agneaux et/ou les qualités maternelles.

Pour évaluer la croissance et le développement, le critère majeur est le Gain Moyen Quotidien (GMQ) qui permet d'estimer la vitesse de croissance selon la formule suivante $GMQ = \Delta \text{Poids vif (en kg ou g)} / \Delta \text{Temps (en jours)}$. Le "GMQ 30-70", calculé entre 30 et 70 jours, et le Poids à Âge Type de 70 jours (PAT70) permettent d'évaluer les capacités de croissance de l'agneau sans tenir compte de la mère puisque le lait n'est plus un facteur limitant sur cette période.

Concernant les qualités maternelles pour la croissance de ses agneaux, on peut calculer l'index de prolificité à partir de la taille moyenne des portées et l'index de valeur laitière estimé indirectement grâce au poids des agneaux à 30 jours, désigné comme le Poids à Âge Type de 30 jours (PAT30) : plus le PAT30 est élevé, meilleure est la production laitière en quantité et qualité. Les mêmes conclusions peuvent être tirées à partir du "GMQ 0-30", calculé sur la période d'allaitement durant le premier poids de vie de l'agneau.

Le "GMQ 0-70" et le "GMQ naissance-abattage" peuvent également être calculés. En plus du GMQ, l'épaisseur de gras dorsal et l'épaisseur du muscle dorsal peuvent être mesurées à partir d'une simple échographie dorsale. Tout comme la NEC, la combinaison de ces deux paramètres permet l'évaluation des réserves corporelles sous-cutanées.

Après abattage, la qualité de carcasse est définie à partir du poids, de l'état d'engraissement (*Tableau 8*), de la conformation (*Tableau 9*) et du rendement après la mort. (France Génétique Élevage, 2011)

État d'engraissement	Illustration	Description
<p>Classe 1 Couverture de graisse inexistante à très faible.</p>		<p>A l'extérieur, pas de graisses ou quelques traces apparentes. A l'intérieur, pas de graisse ou quelques traces apparentes sur les rognons et entre les côtes.</p>
<p>Classe 2 Légère couverture de graisse, muscles presque partout apparents.</p>	 	<p>Une fine couche de graisse couvre une partie de la carcasse, mais peut être moins apparente sur les membres.</p>
<p>Classe 3 A l'exception du quartier arrière et de l'épaule, les muscles sont presque partout couverts de graisse. De faibles dépôts de graisse sont visibles à l'intérieur de la cage thoracique.</p>	 	<p>Une légère couche de graisse couvre la majeure partie ou l'ensemble de la carcasse. La couche de graisse est légèrement plus épaisse à la base de la queue.</p>






<p>Classe 4</p> <p>Les muscles sont couverts de graisse mais encore partiellement visibles au niveau du quartier arrière et de l'épaule. Quelques dépôts de graisse sont visibles à l'intérieur de la cage thoracique.</p>		<p>Une épaisse couche de graisse couvre la majeure partie ou l'ensemble de la carcasse mais la couche de graisse peut être moins épaisse sur les membres et plus épaisse sur les épaules.</p>
<p>Classe 5</p> <p>Toute la carcasse est recouverte d'une graisse épaisse. Des dépôts importants de graisse sont visibles à l'intérieur de la cage thoracique.</p>		<p>Une épaisse couche de graisse couvre l'ensemble de la carcasse. Des amas graisseux sont parfois apparents. Les rognons sont enveloppés dans une épaisse couche de graisse. Les muscles entre les côtes peuvent être infiltrés de graisse. Des dépôts de graisse sont visibles sur les côtes. Cette classe est très peu représentée.</p>

Tableau 8 : Grille de classement de l'état d'engraissement des carcasses ovines

Source : Sagot et Pottier, 2011

Conformation	Illustration	Description
Classe E développement musculaire exceptionnel		Tous les profils sont convexes à extrêmement convexes. Le quartier arrière est très épais avec des profils très convexes, très large et très épais jusqu'aux épaules. Les épaules sont très convexes et très épaisses.
Classe U fort développement musculaire		Les profils sont convexes dans l'ensemble. Le quartier arrière est épais avec des profils convexes. Le dos est large et épais jusqu'aux épaules. Les épaules sont épaisses et convexes.
Classe R bon développement musculaire		Les profils sont rectilignes dans l'ensemble. Le quartier arrière présente des profils essentiellement droits. Le dos est épais mais moins large aux épaules. Les épaules présentent un bon développement mais sont moins épaisses.
Classe O développement musculaire moyen		Les profils sont rectilignes à concaves. Le quartier arrière présente des profils tendant à être légèrement concaves. Le dos manque de largeur et d'épaisseur. Les épaules tendent à se rétrécir et manquent d'épaisseur.
Classe P développement musculaire réduit		Les profils sont concaves à très concaves. Le quartier arrière présente des profils concaves à très concaves. Le dos est étroit et concave avec des os saillants. Les épaules sont étroites, plates avec des os saillants.

*Tableau 9 : Grille EUROP de classement de la conformation des carcasses ovines
Source : Sagot et Pottier, 2011*

c) Les agneaux de race Lacaune lait

En moyenne, à la naissance, le poids d'un agneau de race Lacaune laitière, issu d'une portée simple, est de 4,5 kg pour un mâle et de 4 kg pour une femelle. Au sevrage, à l'âge de 28 jours minimum, leur poids moyen sera respectivement de 13 kg à 15 kg pour un mâle et 12 kg à 14 kg pour une femelle (*UPRA Lacaune, 2023*). Ainsi, un gain de poids moyen de la naissance au sevrage est estimé à 9,5 kg, soit un GMQ de 340 g/j pour un mâle et à 9 kg, soit un GMQ de 321 g/j pour une femelle.

L'abattage est effectué lorsque l'agneau est "fini" soit lorsqu'il atteint 30% à 40% de son poids potentiel adulte vers l'âge de 100-110 jours (*Hassoun et al., 2018 ; Lebret et al., 2018*). À l'abattage, les femelles atteignent un poids moyen de 30 kg à 32 kg (soit 15 kg de carcasse donc un rendement de 50%) et les mâles, un poids moyen de 36 kg à 38 kg (soit 18 kg à 19 kg de carcasse donc un rendement de 48% à 51%) (*Poncelet, 2010*). Par rapport à la qualité des carcasses des agneaux de Roquefort, celle-ci est moyenne et selon les grilles de classement des carcasses ovines, cela correspond à un 3 pour l'état d'engraissement et un R pour la conformation (*Tableau 8 et 9*).

d) Facteurs influençant la croissance des agneaux

Il existe une multitude de facteurs qui peuvent influencer la croissance de l'agneau à tous les stades, de la période prénatale à la période pré- et post-sevrage. On distingue les facteurs génétiques dits déterminants et les facteurs environnementaux en lien avec les techniques d'élevage dits permissifs (*Rigal, 1994*).

Par la suite, seront uniquement abordés, de façon non exhaustive, les facteurs influençant la croissance de l'agneau pendant la phase d'allaitement, de la naissance au sevrage, période d'intérêt ici, mais également pendant la phase de croissance in-utéro qui détermine le poids à la naissance. Durant la phase de croissance pré-sevrage et in-utero, c'est la combinaison des effets associés à l'agneau et de ceux associés à la mère qui impactent la croissance et le développement (*David et al., 2013*).

i) Poids à la naissance

La notion de santé animale fait écho au poids à la naissance et au taux de survie des agneaux. Le poids à la naissance est également un indicateur primordial de performance des agneaux. Plus l'agneau sera lourd à la naissance, plus il sera lourd au sevrage, le retard est rarement rattrapé. Comme décrit un peu plus haut, plus un agneau est maigre à la naissance, plus il sera gras. Or la graisse étant moins lourde que le muscle, l'agneau sera

plus léger. Un poids de naissance trop faible implique des chances de survie moindre, mais un poids de naissance trop élevé peut induire des difficultés de parturition (*Gardner et al., 2007*).

ii) Sexe et race

Il existe un dimorphisme sexuel concernant le poids et la croissance. Les mâles naissent généralement plus lourds et ont une croissance plus rapide. Les femelles, quant à elles, ont tendance à déposer plus de graisse tout comme les mâles castrés (*Martin et al. ; 1980 ; Gardner et al. - 2007 ; Hassoun et al. - 2018 ; Gurgel et al. - 2021*).

De même, selon la race, les poids standards ne sont pas identiques et varient selon les aptitudes génétiques bouchères et laitières (*Gardner et al., 2007*).

iii) Taille de portée

Plusieurs études ont démontré que le poids à la naissance des agneaux dépendait de la taille de portée. Ainsi, des agneaux issus d'une portée simple seront plus lourds que des agneaux issus d'une portée double eux même plus lourds que des agneaux issus d'une portée triple et ainsi de suite (*Hatcher et al., 2009*). L'espace utérin pendant une gestation à une capacité limitée. De ce fait, une portée multiple qui prend plus de place qu'une portée simple aura donc proportionnellement moins de place pour le développement de chaque individu. De plus, les agneaux multiples ont une vitesse de croissance plus faible que les agneaux simples (*Gardner et al., 2007*). Et enfin, la capacité d'ingestion est réduite d'autant plus que la taille de portée est grande puisque l'utérus occupe plus de place dans l'abdomen. Cela va entraîner une sous-alimentation de la brebis et on peut aisément supposer que cette restriction des apports nutritionnels va impacter le développement foetal.

iv) Alimentation

L'alimentation de l'agneau joue un rôle important dans sa croissance. Le lait maternel est la principale source de nutriment des agneaux en période pré-sevrage, ainsi sa quantité et sa qualité sont des points clés à maîtriser pour assurer croissance, développement et bonne santé (*Danso et al., 2018*).

Pendant la phase d'allaitement, l'indice de consommation des agneaux varie de 4 à 6 selon les races. Il existe une forte corrélation positive entre la quantité de lait ingéré et la croissance des agneaux pendant la phase d'allaitement. Par ailleurs, si on compare avec les agneaux simples, les agneaux issus de portées multiples doivent consommer plus de lait

pour gagner 1 kg de poids vif (*Ricordeau et al., 1961 ; Ngere et al., 2017 ; Chay-Canul et al., 2020*). Outre la quantité, la qualité du lait est un facteur important. Par exemple, les acides gras courts sont plus digestes (*Gautier et Labussière, 2011*). De plus, il a été démontré que compléter en protéines brutes l'alimentation artificielle des agneaux et donc augmenter le rapport protéine/énergie permettrait d'augmenter le GMQ et la composition corporelle de l'agneau avec un dépôt plus important de protéines permettant d'acquérir une masse musculaire plus importante (*Danso et al., 2018*). À noter que déposer une unité de tissus musculaires nécessite moins d'énergie que de déposer une unité de tissus adipeux du fait d'une plus grande assimilation d'eau dans les tissus riches en protéines (*Herath et al., 2020*). Toutefois, le manque d'informations sur la consommation de lait, lié à la difficulté d'objectiver correctement ce qui est bu par l'agneau qui est laissé sous sa mère, limite l'estimation des besoins et équilibres nutritionnels adéquats pour l'agneau (*Battacone et al., 2023*).

Pour résumer d'un point de vue alimentaire, la croissance résulte de la combinaison d'un facteur maternel, à savoir principalement sa production laitière, caractérisée par la quantité et la qualité et d'un facteur agneau, son efficacité alimentaire, qui correspond ici à l'optimisation des ressources alimentaires par rapport à sa croissance. Ce qui peut donner l'équation suivante : croissance = production laitière x efficacité alimentaire. Ainsi, une meilleure efficacité alimentaire implique une meilleure croissance si la mère adopte un comportement maternel adéquat en laissant téter son ou ses petits (*David et al., 2013 ; Herath et al., 2020*).

v) Facteurs maternels

Comme évoqué précédemment, une multitude de caractéristiques maternelles vont impacter les performances de croissance des agneaux en plus de leurs propres caractéristiques.

Tout d'abord, l'âge de la mère. Plusieurs études menées sur différentes races ont mis en évidence que les agneaux issus de mères âgées de moins de 1,5 an étaient moins lourds à la naissance et avaient un GMQ moins important que les agneaux issus de mères âgées de plus de 3,5 ans (*Martin et al., 1980 ; Abebe et al., 2022*).

Plus que l'âge, ce qui est intéressant à prendre en compte, c'est la parité et le rang de lactation, même si pour une brebis Lacaune laitière, âge et parité se confondent souvent, la première mise-bas ayant lieu vers l'âge d'un an (pour rappel : objectif 13 mois pour la

première mise-bas). Comme abordé précédemment, en race Lacaune laitière selon les données obtenues grâce aux contrôles laitiers officiels donc en période de traite exclusive, la production laitière augmente jusqu'au 3e rang de lactation puis diminue progressivement (*Figure 5*) (*Idele, 2020*). Ainsi, selon le rang de lactation, la production laitière ne sera pas la même. Toutefois, cela ne permet pas de conclure sur ce qu'il se passe pendant la phase d'allaitement-traite.

Concernant la parité, une étude anglaise a démontré que le poids des agneaux à la naissance augmente entre la première et la quatrième gestation avant de diminuer par la suite, et ce, indépendamment de la taille de portée et du sexe des agneaux. Le plus fort gain de poids dans la race étudiée a été observé entre la première et la deuxième gestation (*Gardner et al., 2007*). Il semblerait également que la taille de portée à plus de chance d'augmenter, et donc le poids des agneaux à la naissance de diminuer, au fur et à mesure que le nombre de gestations augmente (*Gardner et al., 2007*). De manière générale, une primipare aura des agneaux avec un plus faible poids à la naissance et produira un colostrum de moindre quantité et qualité qu'une multipare et de ce fait la croissance en sera également impactée (*Gautier et Corbière, 2011*).

Par ailleurs, la génétique de la mère aurait une influence sur la croissance des agneaux, mais de façon indirecte. Par exemple, dans une étude portant sur le gène de prolificité *FecL* chez la brebis Lacaune viande, il a été démontré que les agneaux issus des mères hétérozygotes L+ portant seulement un allèle mutant L pesaient en moyenne 300 g de moins que les agneaux issus des mères ++ (les brebis homozygotes LL, chez qui les portées de 4 agneaux ou plus sont relativement fréquentes, étant trop prolifiques pour les éleveurs n'ont pas été étudiées car non recherchées en sélection). La conclusion de cette étude indique que les brebis L+ auraient une prolificité de +0,5 agneau par rapport aux brebis ++. Par conséquent, la taille de portée des brebis L+ est plus grande, ce qui rejoint le fait que plus la portée est grande plus les agneaux ont un faible poids à la naissance plus leur poids au sevrage est moindre. Par ailleurs, les brebis L+ ont été associées à une mortalité embryonnaire plus importante, mais dans le cas d'une portée multiple au stade embryonnaire, le ou les fœtus restants ne profitent pas de la place ainsi libérée et naissent tout de même plus petits. Une portée simple dès le départ sera donc quand même plus lourde qu'une portée devenue simple du fait d'une mortalité embryonnaire. Enfin, les brebis L+ produisaient moins de lait que les brebis ++ ce qui veut dire moins d'apport nutritif donc une croissance pendant la phase d'allaitement moindre (*Martin, 2013 ; Martin et al., 2014*).

Enfin, la croissance foetale détermine le poids à la naissance de l'agneau. On peut donc aborder la notion de programmation maternelle (ou foetale) qui s'intéresse aux

événements ayant lieu au cours de la gestation et ayant un impact sur le nouveau-né. Le placenta cotylédonaire est le lieu d'échange des gaz et nutriments entre le fœtus et la mère. Ainsi, toute altération entraînant une diminution de la masse de placenta cotylédonaire entraînera une diminution de la croissance foetale par restriction des apports et donc une baisse du poids à la naissance (*Cluzel, 2022*).

Les facteurs de croissance du nouveau-né dépendent de l'environnement nutritionnel et métabolique de la mère en fin de gestation (*Dickinson et al., 1962 ; Butt et al., 2006*). Il y a une corrélation positive entre le poids des mères et le poids des agneaux à la naissance, une brebis avec une NEC faible en fin de gestation aura des agneaux avec un poids de naissance plus faible. Il existe un effet positif d'un apport énergétique en plus de la couverture des besoins (steaming-up) en fin de gestation alors que cet effet n'existe pas au début et au milieu. Ainsi, en fin de gestation, un apport de 0,09 UFL par jour permet un gain final de $+207 \pm 3$ g (*Gardner et al., 2007*). A l'inverse, une restriction alimentaire des brebis, principalement en fin de gestation, induit une baisse de la glycémie maternelle et donc un moindre apport en glucose au fœtus accusant un retard de croissance foetale (*Cluzel, 2022*). Par ailleurs, une NEC faible induit un mauvais colostrum et encore une fois une mauvaise croissance. L'idéal pendant la gestation est que la NEC reste proche de 3 et n'accuse aucune variation ou dans le pire des cas une perte d'un point sans passer en dessous d'une NEC de 2 après le premier mois de gestation, pour que les conséquences soient minimales (*Everett-Hincks et Dodds, 2008 ; Gautier et Corbière, 2011*).

Une étude démontre que l'environnement dans lequel évolue la mère a plus d'impact que le génotype de l'agneau sur sa croissance foetale et son poids à la naissance (*Gardner et al., 2007*). Il semble qu'exposer les brebis au froid pendant leur dernier tiers de gestation entraîne un poids à la naissance plus élevé (*Butt et al., 2006*).

vi) Environnement

L'année de naissance, et plus particulièrement, la période de mise-bas par rapport au climat semble avoir un impact sur le poids à la naissance et la croissance des agneaux. Comme abordé ci-dessus, une baisse des températures en fin de gestation semblerait augmenter le poids de naissance des agneaux. *A contrario*, une augmentation des températures au-dessus de 20°C diminue la consommation, l'efficacité alimentaire et donc le gain de poids (*Gardner et al., 2007 ; Taye et al., 2009*).

vii) Sanitaire

Un dernier facteur qui peut impacter la croissance des agneaux, c'est les troubles sanitaires. Le taux de mortalité avant sevrage des agneaux est élevé entre 15% et 20% (Gautier et Corbière, 2011). Même si la mortalité est dans la majorité des cas précoce et d'origine non-infectieuse (agnelage dystocique, malformation congénitale, syndrome d'inanition-hypothermie ...), il existe aussi des troubles infectieux d'origine bactérienne, virale, fongique ou parasitaire. Avant le sevrage, soit avant un mois d'âge, cela concerne principalement les troubles digestifs avec les diarrhées néonatales dues entre autres à *Escherichia coli* et *Cryptosporidium parvum* ou les troubles respiratoires avec les pneumonies ou septicémies à *Mannheimia haemolytica* et dans une moindre mesure les pneumonies à *Pasteurella multocida* ou encore *Mycoplasma ovipneumoniae* (Gautier et Corbière, 2011). Ces troubles infectieux, quand ils n'occasionnent pas la mort, peuvent très bien être à l'origine de retard de croissance du fait des lésions et séquelles engendrées. C'est le cas par exemple des lésions d'hépatisation pulmonaire en cas de bronchopneumonie infectieuse qui découvertes à l'abattoir peuvent expliquer des performances médiocres. Ou encore, lors d'infestation parasitaire massive, l'un des premiers signes cliniques observé sera un mauvais GMQ du fait d'une spoliation des nutriments ou des lésions du tube digestif limitant l'absorption de ces derniers (Rigal, 1994).

La période allaitement-traite est une période clé dans la filière ovine laitière. Elle s'étale de la mise-bas au sevrage des agneaux et dure donc environ un mois. La lactation débute, et le pic sera atteint au cours de ce mois. Or autour de la mise-bas, les bouleversements physiologiques et métaboliques font que la brebis est à risque notamment de troubles métaboliques qui peuvent compromettre le bon démarrage de la lactation. En parallèle, les agneaux sont dans une période de croissance intense et, s'ils ne sont pas sous alimentation artificielle, leurs apports nutritifs dépendent exclusivement du lait de leur mère. C'est une période pivot et critique pourtant assez peu documentée. Par exemple, l'absence de contrôle laitier ou encore la difficulté à mesurer la production laitière totale et la consommation de lait bu par les agneaux limitent les données disponibles. D'où l'intérêt de cette étude de se pencher sur ce qu'il se passe pendant cette période d'allaitement-traite.

DEUXIEME PARTIE : Étude expérimentale

1) Matériel et méthode

a) Contexte et objectif de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le cadre général du projet Carnot France Futur Élevage IRMA, porté par l'Institut de l'Élevage IDELE, projet qui lui-même se déroule en complément et en synergie du projet H2020 SMARTER, porté par l'UMR INRAE - GenPhySE. L'objectif du projet IRMA est de fournir aux éleveurs ovins laitiers des outils de précision pour améliorer la conduite de leur troupeau notamment grâce à l'exploitation des spectres moyens infrarouges (MIR). L'accent est mis sur une meilleure alimentation et une valorisation de celle-ci, une meilleure qualité du lait et une meilleure gestion sanitaire des brebis et des agneaux. Le projet IRMA porte une attention particulière à la période allaitement-traite, via l'intégration des données sur le métabolisme énergétique, le microbiote digestif et la santé des brebis et des agneaux.

L'étude expérimentale, ici présentée, s'est déroulée à l'unité expérimentale de La Fage, site expérimental du Département de Génétique Animale de l'INRAE pour les ovins laitiers et allaitants, située sur le causse du Larzac. Le but était de produire des brebis très diverses en termes de nombre de fœtus et production laitière attendue afin de créer une grande diversité de statut énergétique en début de lactation des mères. La part de l'étude qui m'a été confiée était d'étudier la croissance des agneaux pendant l'allaitement avant sevrage en fonction du statut métabolique des mères en prenant en compte leur production laitière. Le but étant d'explorer le métabolisme énergétique et la production laitière des brebis sur la période allaitement-traite et de juger l'impact qu'ils peuvent avoir sur la croissance des agneaux pré-sevrés.

b) Population d'étude

L'étude a été effectuée sur un total de 65 brebis de race Lacaune laitière de l'unité expérimentale de La Fage. Les brebis étaient toutes des multipares, âgées entre 2 ans et 7 ans, ayant eu des portées simples, doubles, triples ou plus pour un total de 128 naissances.

Ces brebis étaient génotypées pour connaître l'allèle du gène SOCS2, soient 29 brebis homozygotes C/C, 1 seule homozygote T/T et 35 hétérozygotes C/T. 40 brebis ont bénéficié d'un suivi alimentaire. Ces données n'ont pas été exploitées par la suite.

c) Conduite des animaux durant l'essai

Les brebis ont été mises à la reproduction avec 13 béliers différents. Des échographies ont été réalisées au bout d'environ deux mois de gestation pour dénombrer les fœtus. Afin de diversifier au maximum le futur statut énergétique des brebis en début de lactation, le choix des 65 brebis suivies pour le projet IRMA a été effectué en maximisant d'une part des brebis avec 3 fœtus et plus et un index laitier élevé, d'autre part des brebis ayant un seul fœtus et un index laitier faible. Un groupe intermédiaire avec 2 fœtus et un index laitier médian a aussi été créé. Les 40 brebis destinées à avoir un suivi de leur ingestion à l'échelle individuelle durant la phase d'allaitement-traité ont été habituées à utiliser les mangeoires adaptées, à deux mois de gestation, puis remises en lot classique pour poursuivre leur gestation.

Les mise-bas ont été étalées sur un peu plus d'une semaine entre le 27/11/2021 et le 06/12/2021. Après la naissance, les agneaux étaient soit allaités sous leur mère soit allaités artificiellement. Les portées simples et doubles restaient sous leur mère. Quant aux portées triples et plus, seuls deux agneaux étaient sélectionnés pour rester sous leur mère. Le choix se faisait en fonction du poids à la naissance et du sexe. Les agneaux les plus lourds et en priorité les femelles étaient choisis.

Les agneaux ont été allaités environ un mois, le sevrage ayant eu lieu le 04/01/2022, les agneaux étaient alors âgés entre 29 jours et 38 jours. Après sevrage, certaines femelles ont été gardées pour être mises à la reproduction par la suite, le reste des agneaux étant vendus.

d) Obtention des données

i) Enregistrements sur les brebis

Pour chaque brebis, identifiée par son numéro de travail, ont été enregistrés la date de mise-bas, la taille de portée, soit le nombre d'agneau à l'agnelage allant de 1 à 5 dans cette étude, le nombre d'agneaux allaités, allant ici de 0 à 2.

ii) Mesures sur les brebis

Une évaluation de la Note d'État Corporel (NEC) des brebis a été réalisée à plusieurs reprises : au moment de la mise à la reproduction, à ~2 mois de gestation, à ~2 mois de la mise-bas et une fois par semaine de la mise-bas au premier contrôle laitier officiel, incluant une note au sevrage des agneaux (*Figure 8*). La NEC a été évaluée sur une échelle de 1 à 5 points, avec des intervalles de 0,10 point. En parallèle de l'évaluation de NEC, les brebis ont été pesées (*Figure 8*).

La production laitière a également été mesurée une fois par semaine de la mise-bas jusqu'au premier contrôle laitier officiel (*Figure 8*). Pour les trois premières mesures ayant eu lieu pendant la période d'allaitement-traite, la production laitière a été quantifiée lors de la traite du matin, sans prendre en compte le lait consommé par les agneaux. Pour la dernière mesure au lendemain du premier contrôle laitier officiel, elle a été évaluée matin et soir, permettant l'estimation journalière de la production laitière en traite exclusive.

iii) Prélèvements sur les brebis

Les prélèvements ont été effectués entre la mise-bas et au lendemain du premier contrôle laitier officiel. Quatre chantiers de prélèvements ont été réalisés. Le premier chantier (CLal 1) a eu lieu une semaine après la mise-bas, le second (CLal 2) et le troisième (CLal 3) ont suivi à une semaine d'intervalle. Le quatrième et dernier chantier (CLO 1) a eu lieu en dehors de la période allaitement-traite, au lendemain du premier contrôle laitier officiel, à une semaine du sevrage (*Figure 8*). Lors de ces contrôles, un échantillon de lait (~40 - 60 mL) a été récolté à la traite du matin et un tube de sang hépariné a été prélevé par brebis, avant distribution de la ration, entre 9h et 12h. Les prises de sang ont été réalisées à la veine jugulaire gauche ou droite à l'aide d'un vacutainer et d'une aiguille 20G. L'ordre de passage des brebis pour effectuer les prélèvements a également été consigné.

iv) Enregistrements sur les agneaux

Pour chaque agneau, identifié par son numéro de travail, ont été associés le numéro de la mère ainsi que celui du père, la date de naissance, la taille de portée de laquelle il est issu, le sexe et le mode d'allaitement (artificiel ou sous la mère seul ou à deux). La date de sevrage identique pour tous les individus issus de ces brebis a été enregistrée. Le devenir de chaque agneau a également été renseigné : soit l'agneau a été vendu au sevrage, mis à la reproduction ou est malheureusement mort pendant la phase d'étude auquel cas la date et la cause de la mort ont été indiquées.

v) Mesures sur les agneaux

Les seules mesures effectuées sur les agneaux ont été une pesée à la naissance et une pesée au sevrage (Figure 8).

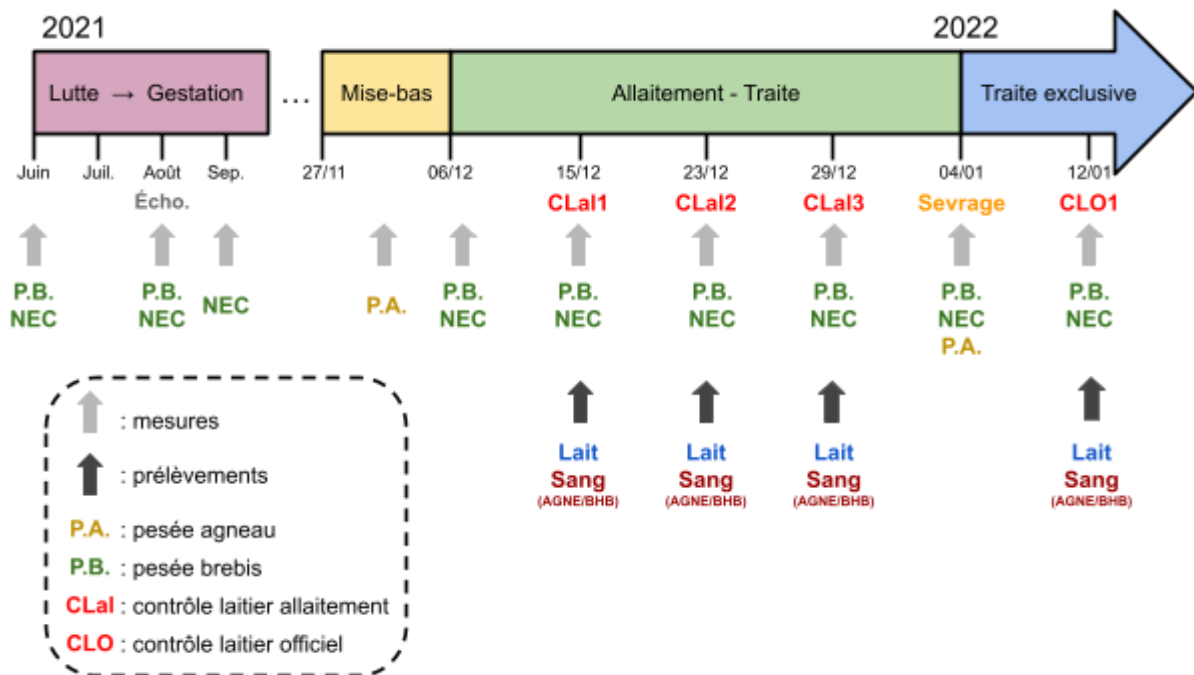


Figure 8 : Schéma de l'étude expérimentale

e) Analyses des prélèvements réalisés sur les mères

i) Dosage des B-hydroxybutyrate

Le dosage des BHB a été effectué à l'aide d'un lecteur portatif Freestyle® Optium Neo (Abbott). Ce lecteur sert à mesurer la glycémie et la cétonémie en médecine humaine, mais également en médecine vétérinaire, et ce, avec une bonne sensibilité et spécificité. Il suffit de déposer une goutte de l'échantillon sanguin sur la bandelette spécifique glycémie ou BHB selon le dosage souhaité et la lecture du résultat se fait au bout de 10 secondes. L'unité de mesure est le mmol/L et la précision est de 0,1 mmol/L.

Ici, le dosage a été effectué sur sang total immédiatement après la prise de sang. La bandelette a été introduite directement dans le sang résiduel sur le tube hépariné ou à l'intérieur de celui-ci, si la quantité de sang était insuffisante.

ii) Dosage des Acide Gras Non Estérifiés

Juste après la prise de sang sur tube hépariné, le prélèvement a été centrifugé à 3 000 tours/min pendant 15 minutes puis 1 mL de plasma a été échantillonné et directement congelé dans de l'azote liquide pour effectuer un dosage *a posteriori*.

Le principe du dosage est le suivant : suite à des réactions enzymatiques successives, la formation d'un dérivé coloré pourpre absorbant à une longueur d'onde spécifique permet d'estimer la concentration plasmatique initiale en AGNE en mmol/L.

Le dosage plasmatique s'est effectué à l'ENVV selon la méthode enzymatique automatique à l'aide du lecteur de plaques FLUOstar Omega®. Les 96 puits pour l'analyse étaient sur une plaque à bord blanc de type F. GREINER (réf. 655098). Le kit de réactifs utilisé était le Free Fatty Acids Reagent Set Enzymatic Method 20 - 100 tests (réf. 3055 - INSTRUCHEMIE). 200 µL du premier réactif ont été déposés dans les puits avant d'y ajouter 5 µL d'échantillon plasmatique. Une première lecture a été effectuée après une réaction de 3 minutes à 37 °C. Le second réactif a ensuite été rajouté à hauteur de 100 µL. La seconde lecture a été réalisée après une réaction de 4 minutes 30 secondes à 37 °C. Les longueurs d'onde de lecture étaient 546 nm et 700 nm à 20 flash par mesure par puits.

iii) Contrôle laitier

Les échantillons de lait ont été envoyés au Laboratoire Interprofessionnel d'Analyses Laitières (Agrolab's Aurillac, France) pour évaluation du Taux Butyreux (TB) et du Taux Protéique (TP) (Milko-Scan™ FT6000 instrument (Foss, Nanterre, France)) ainsi que du Comptage des Cellules Somatiques (CCS) (Fossomatic cell counter (Foss, Nanterre, France)) et de l'urée.

iv) Dosage des Acides Gras du lait

Juste après prélèvement, 1 mL de lait a été échantillonné et directement congelé dans de l'azote liquide pour effectuer un dosage *a posteriori*. Le dosage des acides gras du lait s'est effectué à l'ENVV, après lyophilisation des échantillons, par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode de Jenkins 2010 (Chromatographe : 7890A AGILENT technologies ; Module d'acquisition : Model 202, SRI Instruments ; Logiciel d'acquisition : PeakSimple version 2,83).

f) Analyse des données

L'exploitation statistique des données a été réalisée grâce au logiciel RStudio® (version 4.2.1) et aux fonctions statistiques du logiciel Excel®. Le seuil de 5% a été retenu comme seuil de significativité.

Dans un premier temps, une analyse plutôt descriptive du troupeau et des résultats obtenus sur les mères a été réalisée. Des ANOVA à un facteur ont été appliquées de manière indépendante pour comparer les valeurs de poids, de NEC, d'AGNE, de BHB, de TB, de TP, du rapport TB/TP et d'AG obtenues aux différents prélèvements/mesures. Si l'ANOVA donnait une valeur $p < 0,05$, une analyse par paire a été effectuée au moyen du test de Turkey.

Pour la suite de l'étude, pour chaque indicateur du statut métabolique et de la production laitière, les brebis ont été classées en groupes les plus homogènes possibles. Pour les AGNE, les BHB, le TB, le TP et les AG, les brebis étaient réparties selon que leurs valeurs au cours de la période d'allaitement-traite étaient hautes ou basses, selon des seuils arbitrairement établis. Pour ce faire et afin de se concentrer sur la période allaitement-traite, pour les AGNE et les BHB, c'est le dosage au CLal 2 (pic) qui a servi à énoncer les groupes. Pour le TB, le TP et les AG, une valeur moyenne a été calculée à partir des trois valeurs mesurées au CLal 1, CLal 2 et CLal 3. Les brebis ont également été classées selon leur production laitière au premier contrôle laitier officiel selon que cette dernière était faible, moyenne ou forte, grâce à des seuils fixés arbitrairement. De même, elles ont été classées selon leur variation de NEC avant sevrage ($\Delta NEC = NEC_Sevrage - NEC_MB$), selon des seuils arbitrairement fixés.

Les corrélations entre les valeurs des différents indicateurs du statut métabolique des brebis et de leur production et composition laitière ont été évaluées par le coefficient de corrélation de Pearson.

Dans un deuxième temps, les données des agneaux ont été traitées à l'aide d'ANOVA à un facteur. Quand l'ANOVA est significative, au besoin, une analyse par paire a été effectuée au moyen du test de Turkey.

Les variables ainsi étudiées sont :

- le poids vif des agneaux à la naissance
- le GMQ des agneaux sur la période allaitement ($GMQ (g/j) = [Poids\ vif\ au\ sevrage (g) - Poids\ vif\ à\ la\ naissance (g)] / \hat{A}ge\ au\ sevrage (j)$)

Pour l'analyse du poids vif à la naissance, les facteurs de variation considérés individuellement sont :

- le sexe de l'agneau : mâle, femelle
- la taille de portée : simple, double, triple ou plus
- l'âge des mères à la mise bas : entre 2 et 3 ans, entre 4 et 7 ans
- la NEC des mères en fin de gestation : $\leq 2,9$, $[3 - 3,2]$, $\geq 3,3$
- la NEC des mères à la mise-bas : $\leq 2,9$, $[3 - 3,2]$, $\geq 3,3$

Pour l'analyse du GMQ, les facteurs de variations considérés individuellement sont :

- le sexe de l'agneau : mâle, femelle
- le mode d'allaitement : artificiel, 1 agneau sous la mère, 2 agneaux sous la mère
- les indicateurs du statut métabolique des mères (uniquement pour les agneaux sous la mère) :
 - la variation de la NEC sur la période allaitement-traite ($\Delta\text{NEC} = \text{NEC_Sevrage} - \text{NEC_MB}$) : stable/gain, faible perte ($\leq -0,25$ point), forte perte ($> -0,25$ point)
 - la valeur d'AGNE au CLal 2 : élevée ($\geq 0,90$ mmol/L), basse ($< 0,90$ mmol/L)
 - la valeur de BHB au CLal 2 : élevée ($\geq 1,5$ mmol/L), basse ($< 1,5$ mmol/L)
- la production et la composition laitière des mères (uniquement pour les agneaux sous la mère) :
 - la production laitière au CLO 1 : faible (< 3 L/j), moyenne ($[3 - 3,5$ L/j]), élevée ($\geq 3,5$ L/j)
 - le TB moyen avant sevrage : élevé (> 65 g/L), bas (≤ 65 g/L)
 - le TP moyen avant sevrage : élevé (≥ 46 g/L), bas (< 46 g/L)
 - la composition fine en acide gras du lait

La corrélation entre le poids vif à la naissance et le GMQ des agneaux a été évaluée par le coefficient de corrélation de Pearson.

2) Résultats

a) Descriptif de l'échantillon d'étude

i) Mortalité des agneaux

Sur les 128 agneaux nés, il y a eu 15 morts, soit 11,7% de mortalité dans le troupeau. Parmi ces agneaux, 3 sont mort-nés (mortalité), 6 entre la naissance et 48-72h (mortalité postnatale immédiate), aucun entre 48-72h et une semaine d'âge (mortalité postnatale intermédiaire), 5 entre une semaine d'âge et le sevrage (mortalité postnatale

tardive) et 1 seul peu après sevrage (mortalité post-sevrage) (Figure 9). D'après la Figure 10, les agneaux morts avaient plutôt un faible poids à la naissance, 12 agneaux sur 15 avaient un poids inférieur à 4 kg, dont 7 inférieurs à 3 kg. De plus, 9 de ces agneaux étaient issus d'une portée triple ou plus, 5 d'une portée double et seulement 1 d'une portée simple. Ces agneaux seront par la suite écartés de la partie étude de la croissance, n'ayant pas de seconde pesée au sevrage, le calcul de leur GMQ s'est avéré impossible.

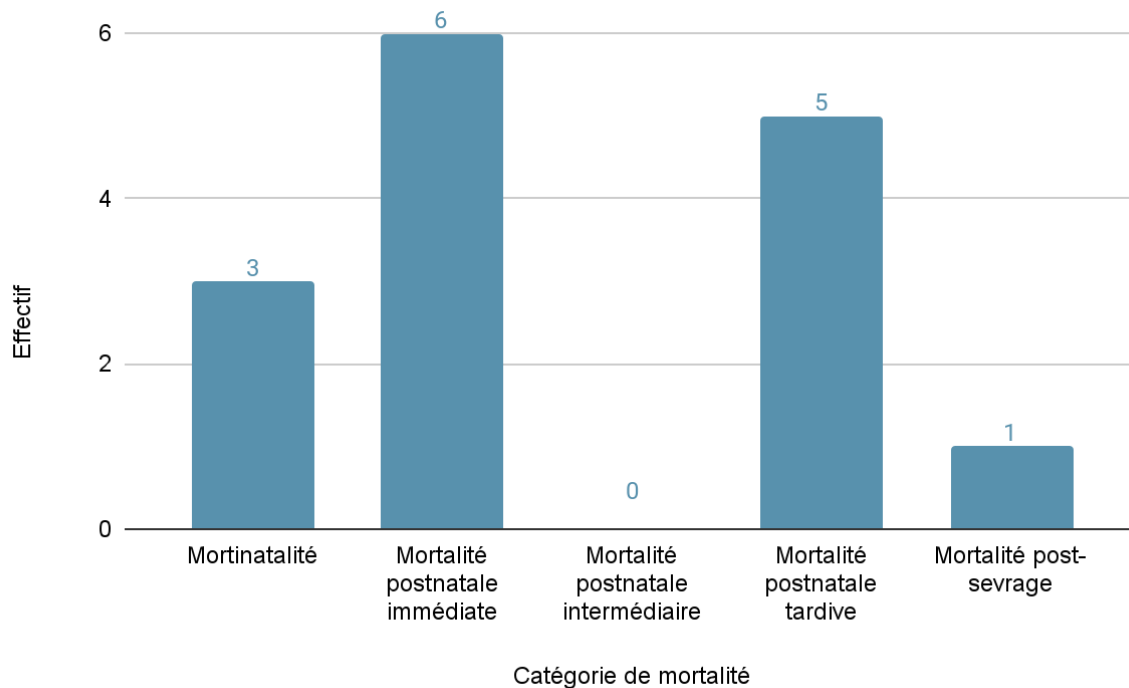


Figure 9 : Répartition de la mortalité des agneaux selon leur tranche d'âge (n=15)

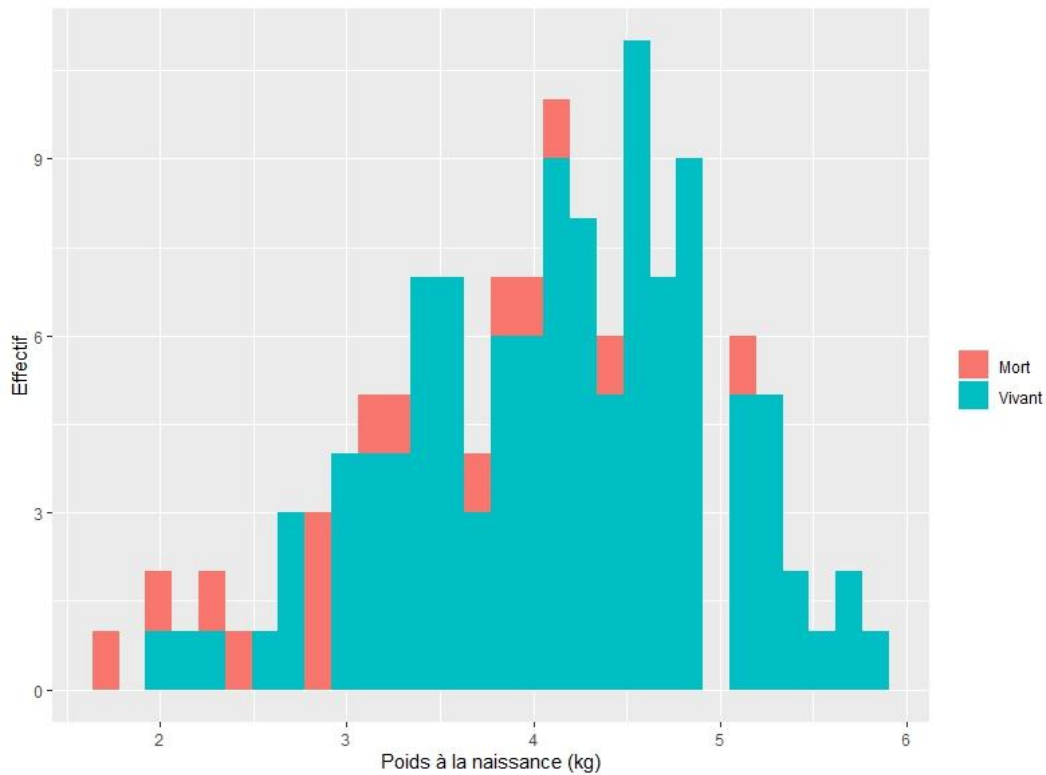


Figure 10 : Répartition des poids à la naissance des agneaux vivants et morts (n=128)

ii) Taille de portée

Sur les 65 mères et donc les 65 portées, il y a majoritairement eu des portées simples et doubles, en tout 23 portées simples et 25 portées doubles, représentant respectivement 35% et 38% de l'effectif total. Les 17 portées restantes étant des portées triples ou plus, soit 26% de l'effectif (*Figure 11*). Il n'y avait significativement pas plus de portées simples ou doubles ou triples et plus dans l'échantillon ($\text{Khi}^2, p=0,45$). Par la suite, les 17 portées triples ou plus seront regroupées dans la même catégorie.

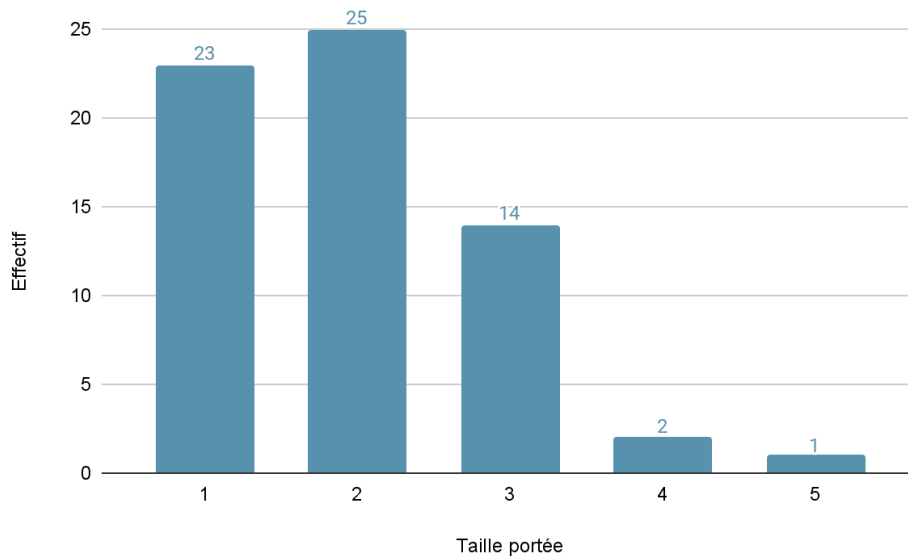


Figure 11 : Répartition des portées selon leur taille (=nombre d'agneaux) (n=65)

iii) Sexe des agneaux à la naissance

Sur les 113 agneaux vivants, il y avait 49 mâles (43%) et 64 femelles (57%). La prévalence de femelles n'était pas significativement plus élevée (Khi2, $p=0,16$).

iv) Mode d'allaitement

La majorité des agneaux ont été nourris avec le lait de leur mère (84%), ne laissant que 18 agneaux nourris artificiellement (16%). Concernant les 95 agneaux restants, 68 ont été allaités à deux (72%) et 27 agneaux seuls (28%).

v) Âge des brebis

Les 65 brebis de l'étude étaient âgées entre 2 et 7 ans au moment de la mise-bas. La majorité, 63%, avaient 3 ans ou moins et les 37% avaient 4 ans ou plus. Le troupeau était majoritairement jeune (Khi2, $p=0,03$).

vi) Poids des brebis

Le poids des brebis a augmenté de façon fortement significative en fin de gestation, phénomène qui peut être associé à la croissance du ou des fœtus, des annexes et de la matrice ($p<0,001$). Le poids moyen est passé de $69,5 \pm 0,80$ kg à environ deux mois de gestation, à $80 \pm 0,82$ kg moins d'une semaine après la mise-bas, soit un gain de plus de 10 kg, sans tenir compte du poids des agneaux, déjà nés au moment de la pesée (Figure 12).

Après la mise-bas, le poids des brebis tendait à diminuer, légèrement et non significativement jusqu'au sevrage. Mais au premier contrôle laitier, soit aux alentours du pic de lactation, la perte était significative avec un poids moyen qui est alors passé à $77,27 \pm 0,79$ kg, soit une perte d'un peu moins de 3 kg après la mise-bas ($p=0,05$) (Figure 12).

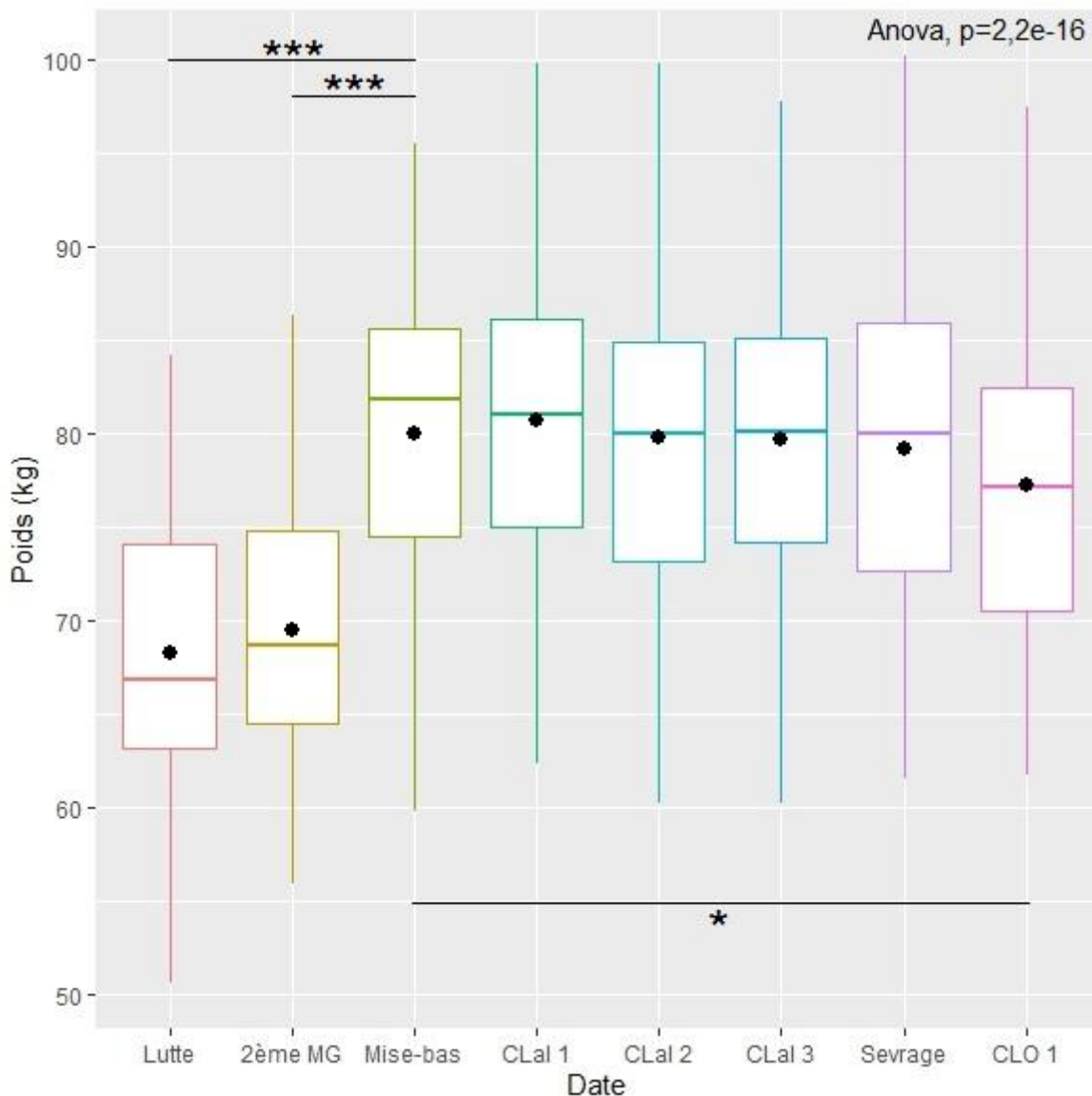


Figure 12 : Distribution et moyenne (point noir) du poids des 65 brebis de la lutte au premier contrôle laitier officiel (MG : mois de gestation ; CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

vii) Note d'État Corporel des brebis

Les multiples évaluations de la NEC entre la mise à la reproduction et le premier contrôle laitier officiel après la période d'allaitement ont mis en évidence une tendance évolutive correspondant à la physiologie du cycle productif. À savoir, qu'entre la mise à la

reproduction et la période de fin de gestation, la NEC a fortement et significativement augmenté ($p=0,0005$), $+0,22 \pm 0,43$ point de NEC en moyenne. Cette hausse s'apparente à la constitution des réserves énergétiques (*Figure 13*).

À partir de la fin de gestation, période où la mobilisation des réserves énergétiques débute pour pouvoir assurer la croissance foetale et le début de lactation, la NEC a significativement chuté. Sur la période d'allaitement-traite, entre la mise-bas et le sevrage, la perte de NEC était de $-0,12 \pm 0,23$ point en moyenne ($p=0,01$) alors qu'entre la mise-bas et le début de la traite exclusive (soit au premier contrôle laitier officiel), la perte était plus importante, de $-0,25 \pm 0,25$ point en moyenne ($p=0,001$). Sur la période d'allaitement-traite, avant contrôle au sevrage, la NEC était relativement stable (*Figure 13*).

La variabilité intra-troupeau était plus importante au premier contrôle allaitement-traite mais très faible ($CV-CLa1=14\%$ v/s $CV<10\%$ aux autres dates). Il y a également eu une forte variabilité intra-individuelle, puisque 68% des brebis ont une NEC qui a varié tout au long de l'essai de plus de 0,5 point ($Khi2$, $p=0,004$).

En moyenne, à la mise-bas, la NEC était de $3,10 \pm 0,29$ et globalement, l'état des brebis était plutôt bon, puisque 65% des brebis avaient une NEC comprise en 3 et 3,5. Au sevrage, aucune brebis n'est passée en dessous de 2,5 de NEC et plus généralement sur la période allaitement-traite, seulement 2 brebis ont perdu 1 point de NEC. Si on observe la variation de NEC sur la période d'allaitement-traite ($\Delta NEC = NEC_Sevrage - NEC_MB$), on peut identifier 3 groupes de brebis, celles avec une NEC "stable" ou un "gain" de NEC, celles avec une "faible perte" de moins de 0,25 point de NEC et celles avec une plus "forte perte" de plus de 0,25 point.

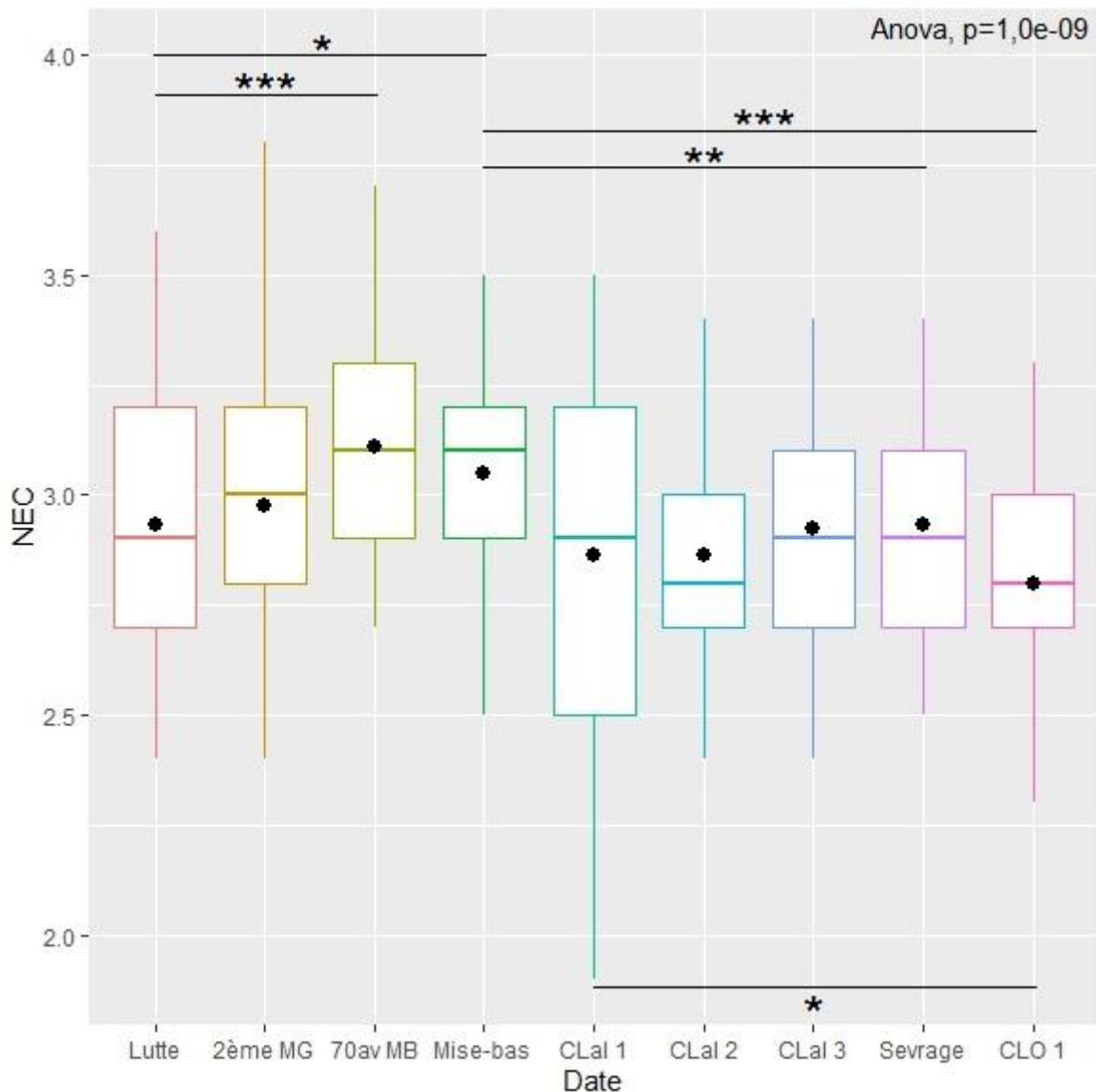


Figure 13 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs de NEC des 65 brebis de la lutte au premier contrôle laitier officiel (MG : mois de gestation ; 70av MB : 70 jours avant mise-bas ; CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,01$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

viii) Statut métabolique des brebis

(1) Dosage des Acides Gras Non Estérifiés

Les mesures de concentration plasmatique en AGNE sur la période d'allaitement-traite et au début de la traite exclusive ont mis en évidence une hausse fortement significative de la concentration moyenne 15 à 21 jours après mise-bas ($p < 0,0001$; $0,91 \pm 0,28$ mmol/L en moyenne), suivi d'une baisse fortement significative des taux moyen ($p < 0,0001$; $0,19 \pm 0,12$ mmol/L en moyenne). À noter une forte variabilité intra-troupeau ($CV > 30\%$) (Figure 14).

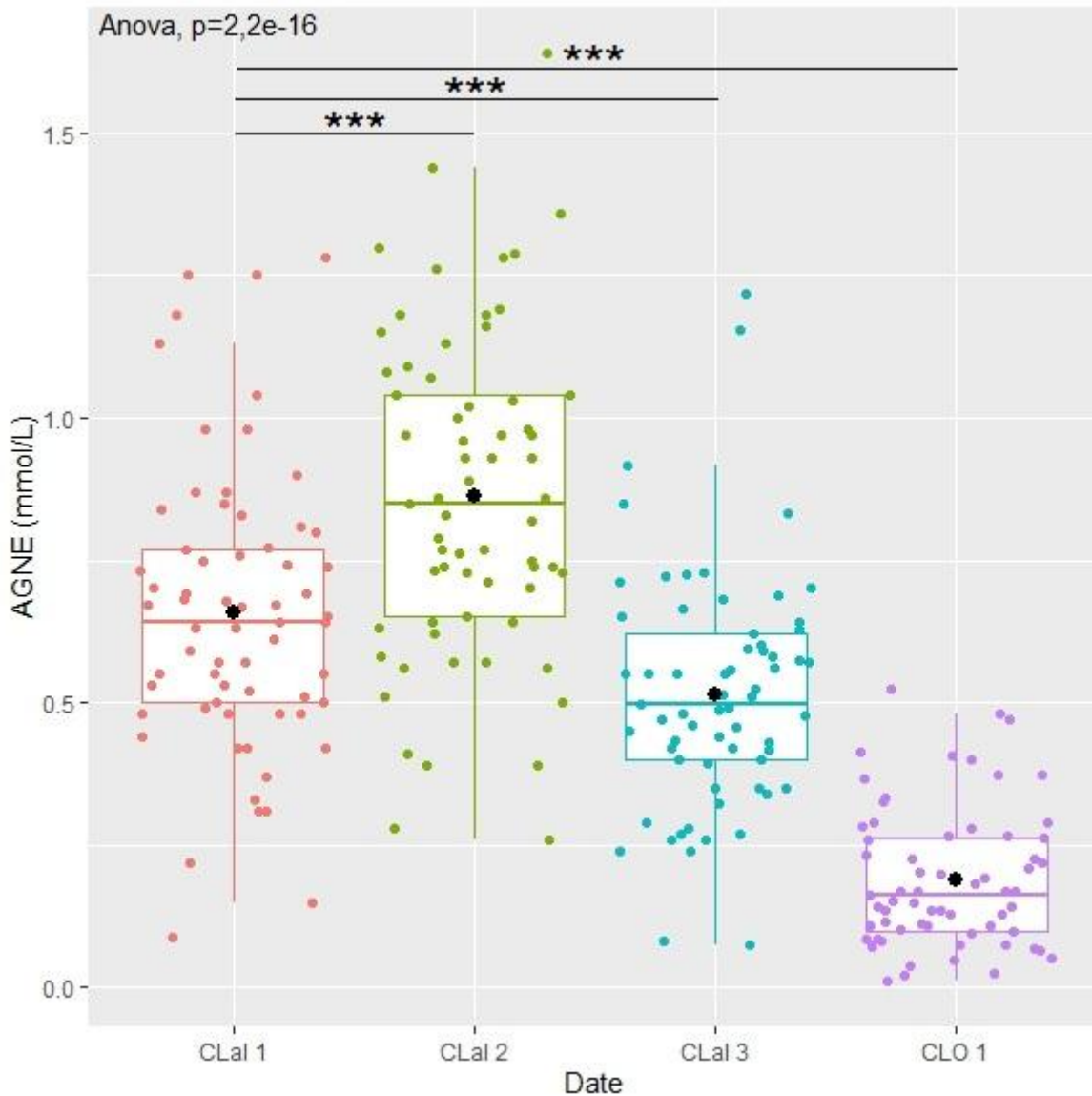


Figure 14 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs d'AGNE des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Ainsi, dans cette étude, le pic de concentration sanguine en AGNE, qui pourrait correspondre au pic de lipomobilisation, est intervenu autour du second contrôle laitier d'allaitement-traite (CLal 2), soit entre 2 et 3 semaines post-agnelage, pour la majorité des brebis (85%). Si on se concentre sur ces valeurs d'AGNE obtenues au CLal 2, on peut classer les brebis en deux groupes en plaçant une limite arbitraire à 0,90 mmol/L et définir des brebis avec des valeurs "hautes" d'AGNE pendant l'allaitement-traite ($n=32$) et celles avec des valeurs plus "basses" ($n=33$) (*Figure 15*).

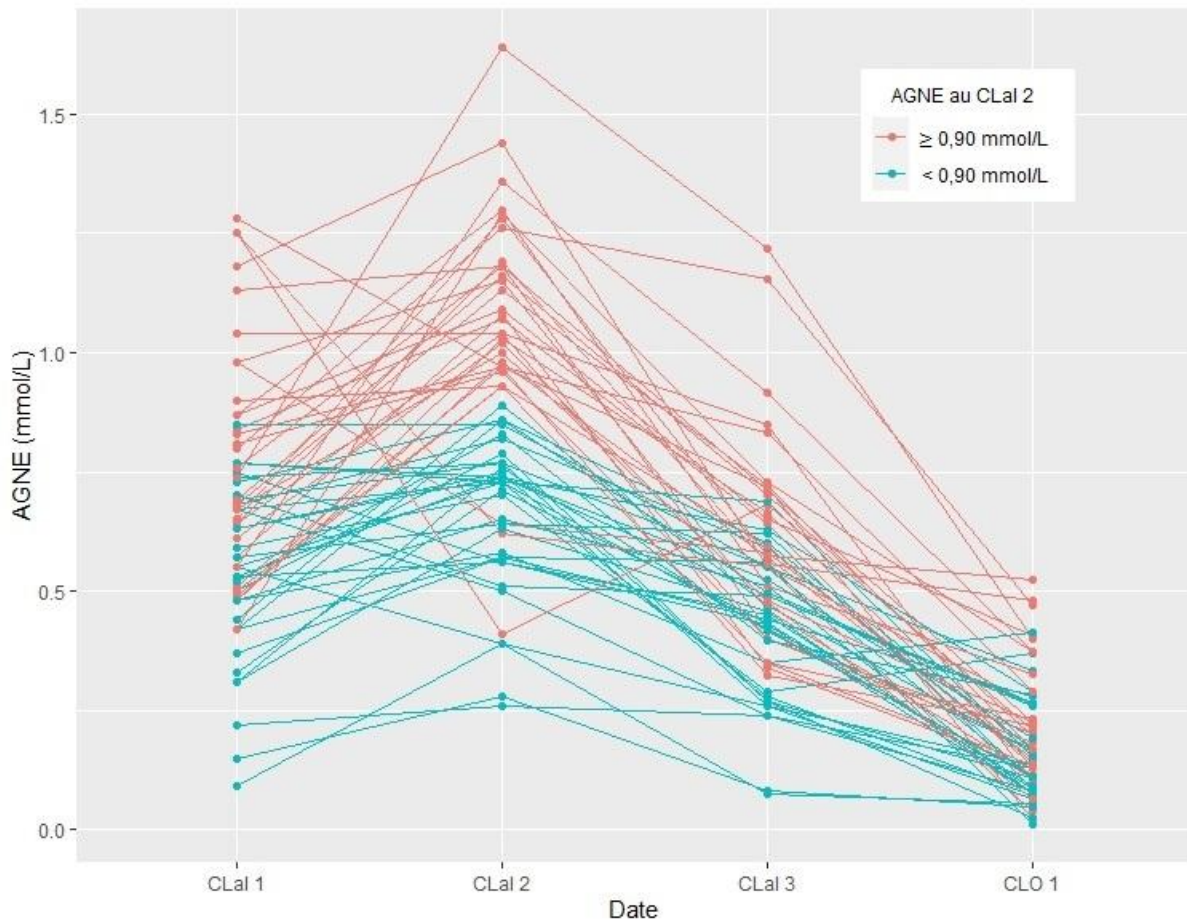


Figure 15 : Évolution des valeurs d'AGNE des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel)

(2) Dosage des B-hydroxybutyrate

Les mesures de concentration sanguine en BHB sur la période d'allaitement-traite et au début de la traite exclusive mettent en évidence une hausse significative de la concentration 15 à 21 jours après mise-bas ($p=0,02$; $1,55 \pm 0,69$ mmol/L en moyenne), suivi d'une baisse fortement significative des taux ($p<0,0001$; $0,84 \pm 0,21$ mmol/L en moyenne). Il y a eu une forte variabilité intra-troupeau pendant l'allaitement-traite, mais après sevrage, les valeurs se dispersaient moins ($CV-CLal>30\%$ v/s $CV-CLO1=25\%$) (Figure 16).

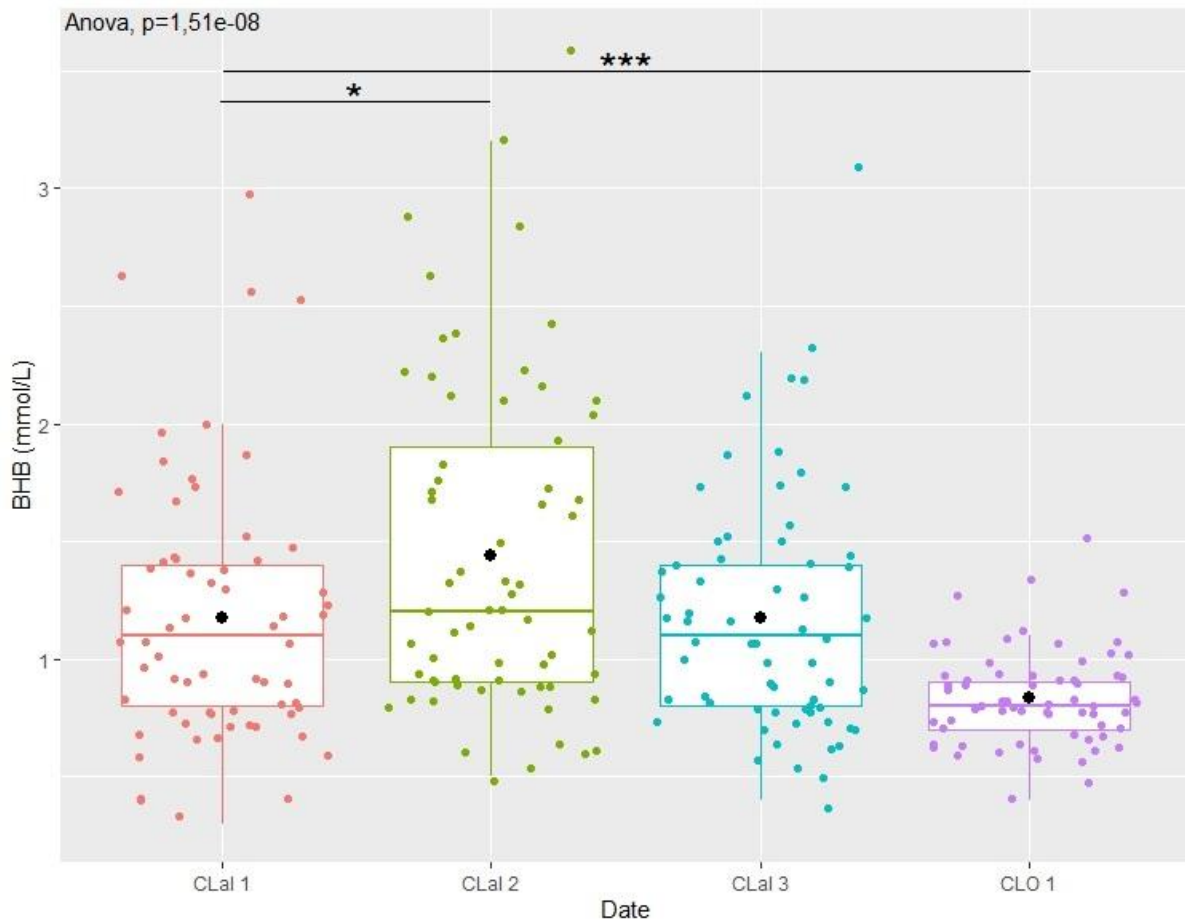


Figure 16 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs de BHB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; **** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Il y avait 29 brebis dont la concentration sanguine en BHB pendant la période d'allaitement-traite variait fortement en passant au-dessus de 1,50 mmol/L et au contraire pour les 36 brebis ne dépassant pas le seuil de 1,50 mmol/L, le taux variait moins. Sur ces 36 brebis, 5 seulement n'ont pas dépassé le seuil de 0,80 mmol/L (*Figure 17*).

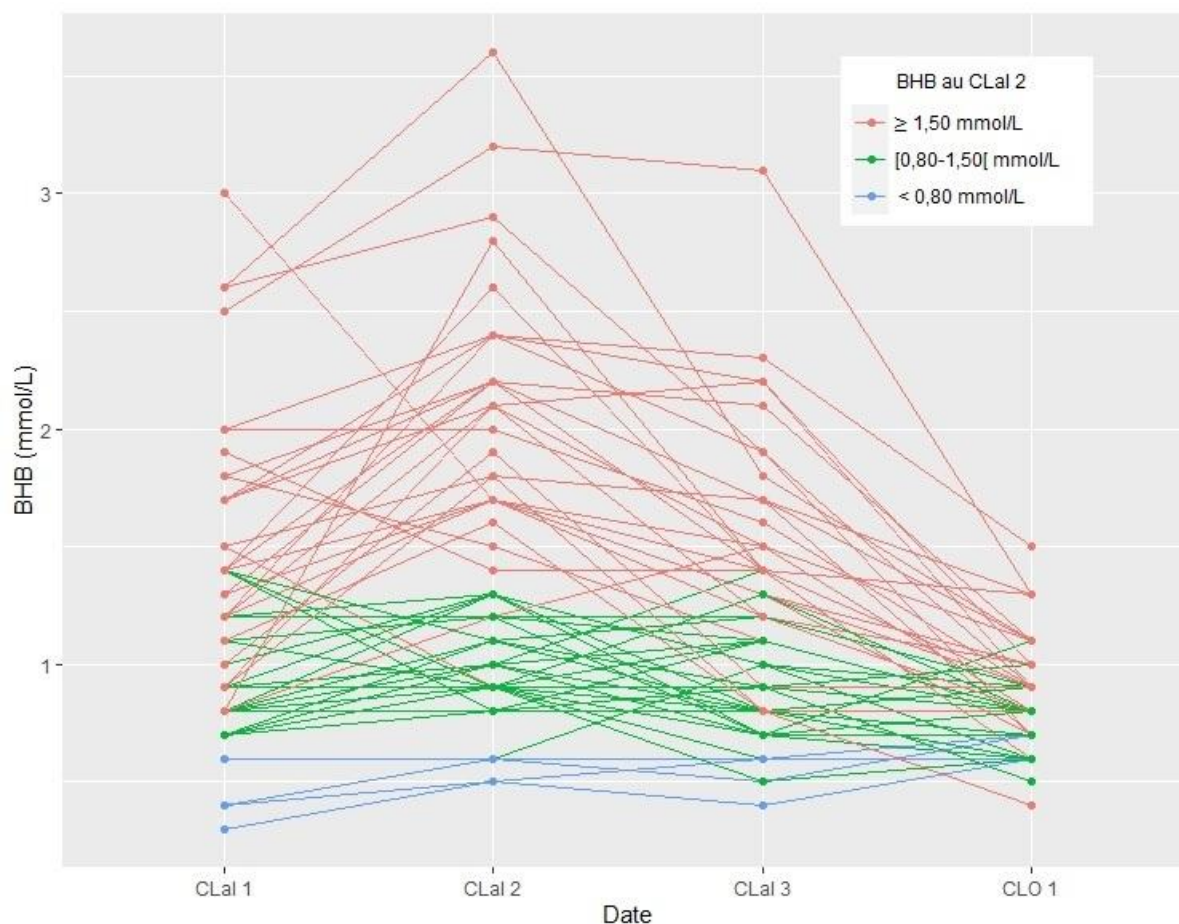


Figure 17 : Évolution des valeurs de BHB des 65 brebis au cours de la période d’allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel)

ix) Quantité et qualité du lait

(1) Production laitière

En regardant les performances au premier contrôle laitier officiel, où la production était quantitativement maximale par rapport aux autres contrôles laitiers officiels, la production laitière était en moyenne de $3,24 \pm 0,64$ L/j. Une remarque, la comparaison avec la production laitière aux contrôles laitiers d’allaitement-traite était impossible ne connaissant pas la production totale des brebis, mais uniquement la part non bu par les agneaux. On peut ainsi répertorier des brebis qui avaient, au premier contrôle laitier officiel, une “faible” production laitière inférieure à 3 L/j (n=19), celles avec une production “moyenne” entre 3 et 3,5 L/j (n=24) et celles avec une “forte” production supérieure ou égale à 3,5 L/j (n=21). À noter que la production laitière mesurée pendant la phase d’allaitement-traite n’a quantifié que le lait non bu par les agneaux et non pas la quantité totale produite.

(2) Taux butyreux

Au niveau de la composition du lait, concernant le TB, il y a eu une baisse très significative du taux entre le début de la période d'allaitement-traite et le début de la traite exclusive passant en moyenne de $68,33 \pm 13,02$ g/L au CLal 1, à $61,55 \pm 9,42$ g/L au CLO 1 ($p=0,001$) (Figure 18). Les variations intra-troupeau étaient plus importantes pendant la phase d'allaitement-traite qu'après sevrage, mais plutôt faible ($CV-CLal > 15\%$ v/s $CV-CLO1 = 15\%$).

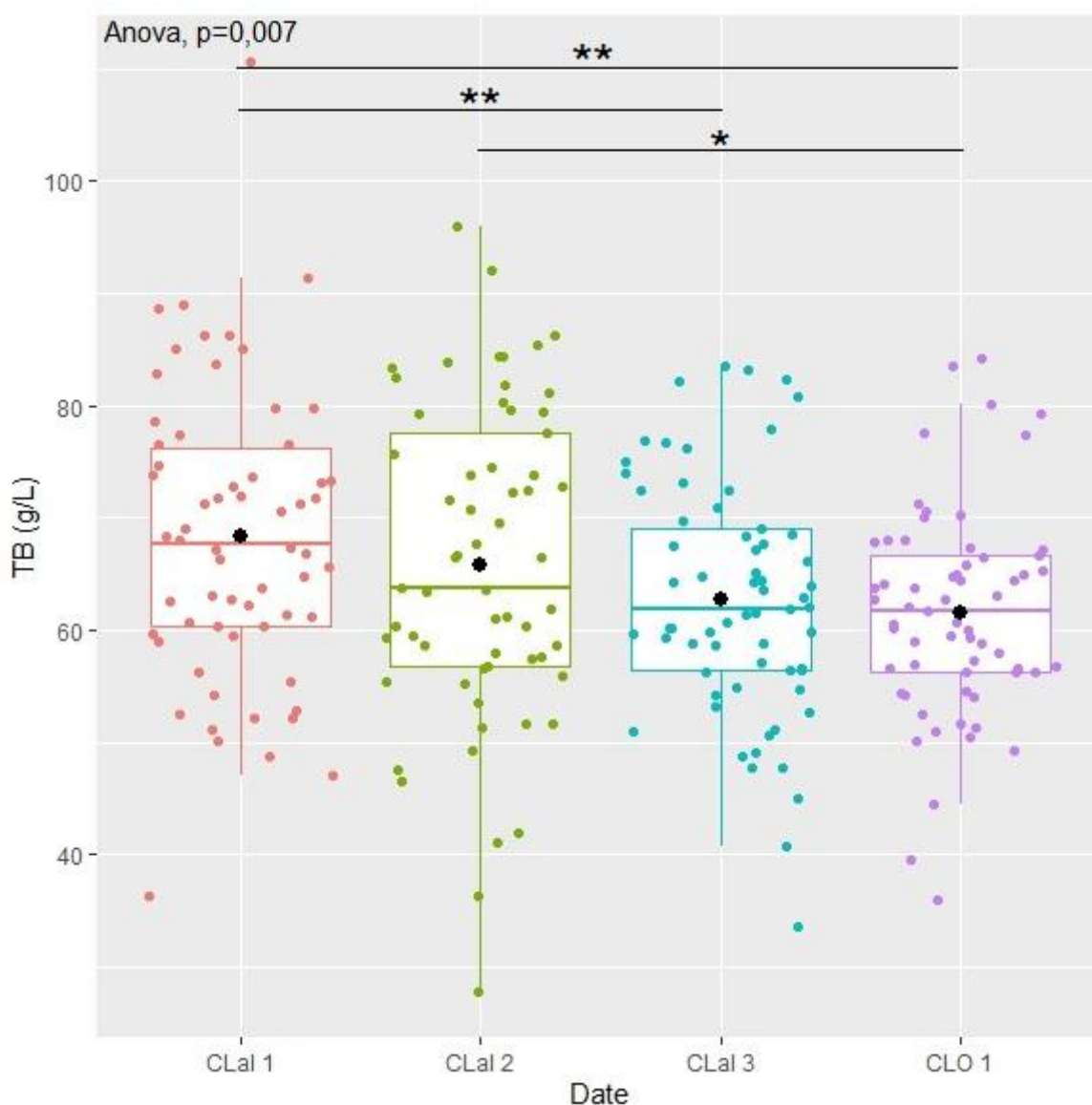


Figure 18 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du TB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Il y avait 36 brebis avec un TB moyen sur la période avant sevrage supérieur à 65 g/L et 29 brebis avec un TB moyen plus bas inférieur ou égal à 65 g/L. À noter, une forte variabilité intra-individuelle tout du long (*Figure 19*).

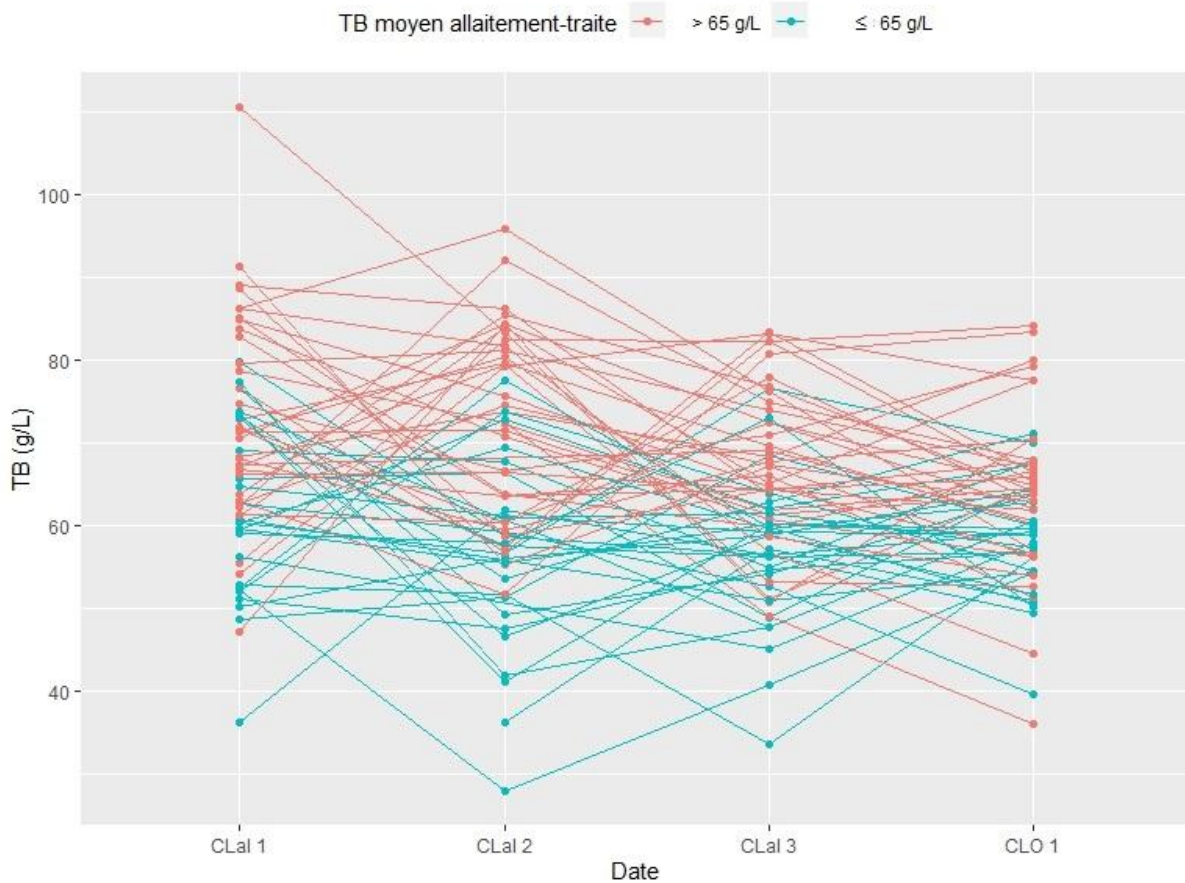


Figure 19 : Évolution des valeurs du TB des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel)

(3) Taux protéique

Le taux protéique a très significativement diminué pendant la phase d'allaitement-traite ($p=0,001$), passant en moyenne de $47,24 \pm 3,89$ g/L au CLal 1 à $43,36 \pm 6,74$ g/L au CLal 2. Il a ensuite fortement et significativement augmenté après sevrage, au premier contrôle laitier officiel, s'élevant en moyenne à $49,40 \pm 3,35$ g/L ($p<0,0001$) (*Figure 20*). Encore une fois, les variations intra-troupeau étaient plus importantes pendant la phase d'allaitement-traite qu'après sevrage, mais très faible ($CV-CLal>10\%$ v/s $CV-CLO1=7\%$).

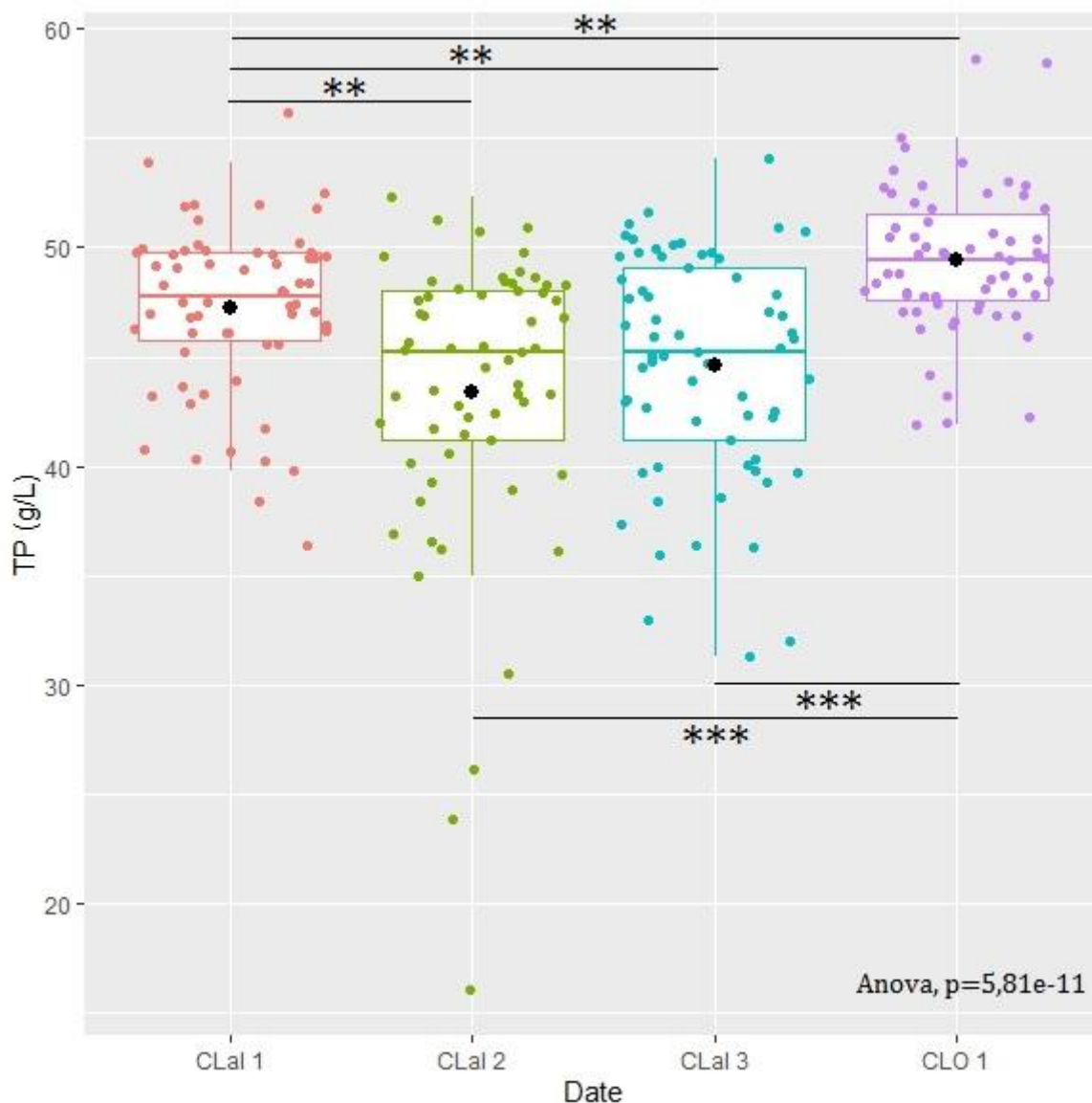


Figure 20 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Il y avait 32 brebis avec un TP moyen sur la période avant sevrage inférieur à 46 g/L et 33 brebis avec un TP moyen plus élevé, supérieur ou égal 46 g/L. À noter, une forte variabilité intra-individuelle tout du long (*Figure 21*).

Au second contrôle laitier de la phase d'allaitement-traite (CLal 2), il y avait 4 brebis ayant un TP extrêmement bas (*Figure 20 et 21*). Ces brebis hormis un TP bas n'avaient pas d'autres dénominateurs communs, notamment ce n'étaient pas des brebis trop maigres ou trop grasses ayant un déficit énergétique ou un besoin énergétique plus important que les autres brebis.

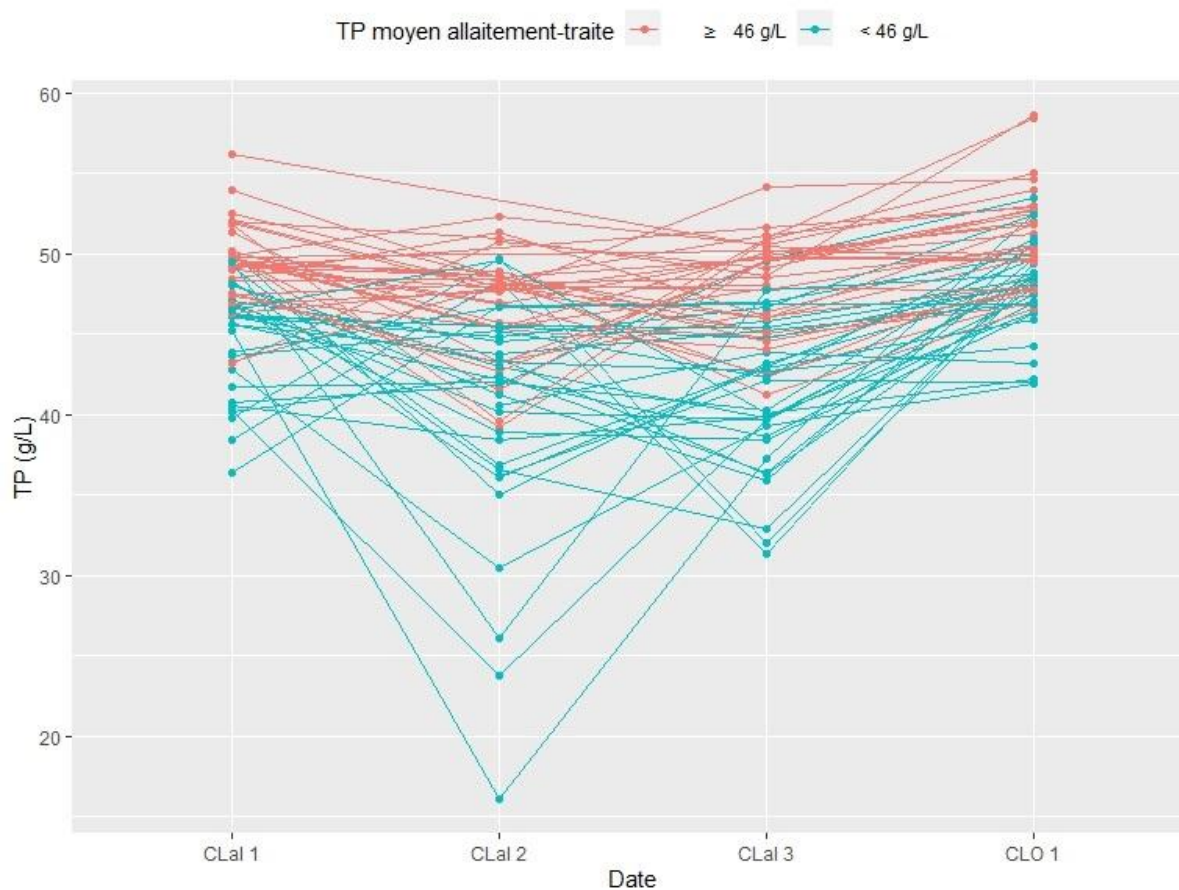
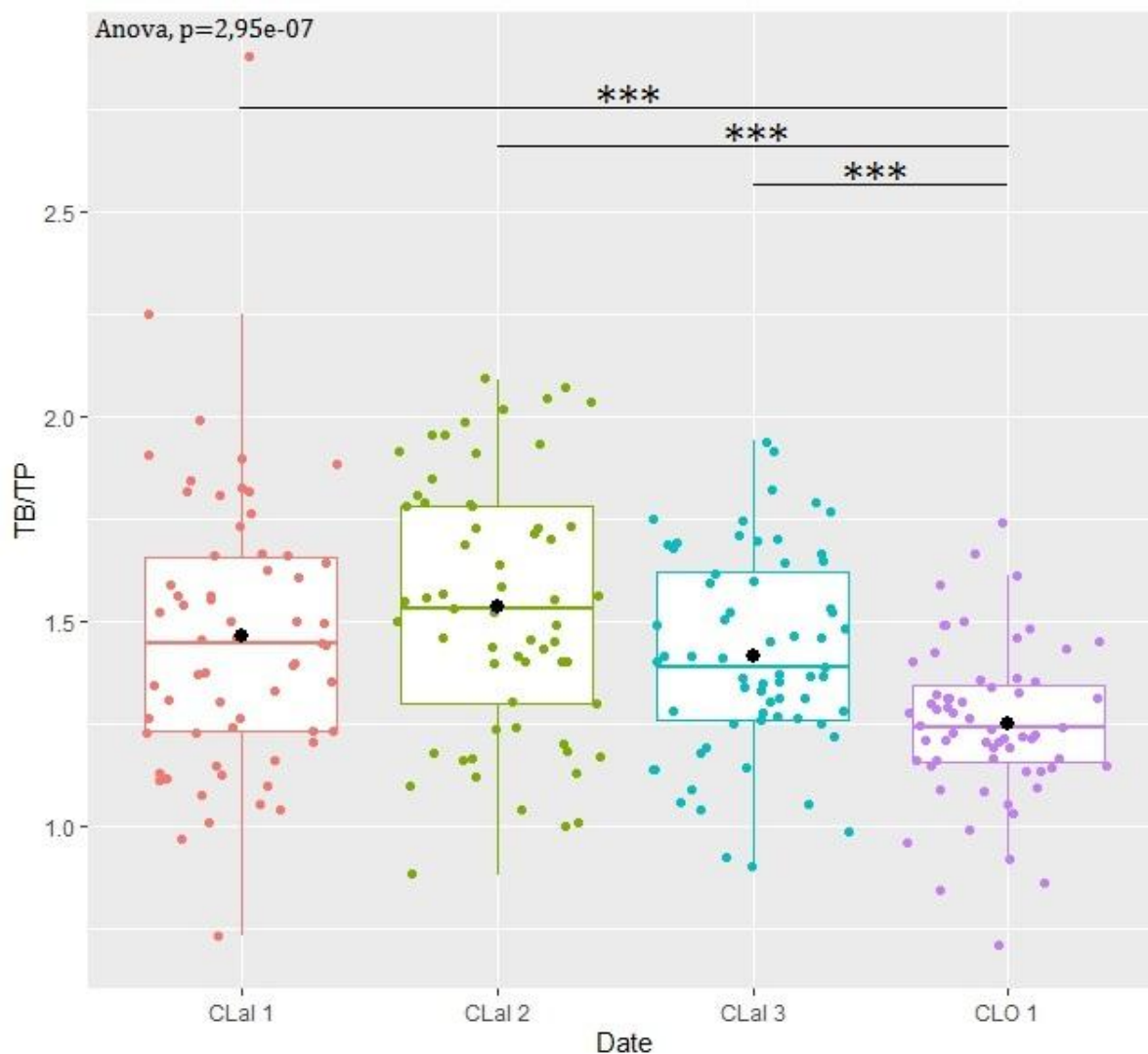


Figure 21 : Évolution des valeurs du TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel)

(4) Rapport TB/TP

Le rapport TB/TP a fortement et significativement diminué entre la période d'allaitement-traite (CLal) et la période de traite exclusive (CLO) ($p < 0,0001$) alors qu'il était plutôt stable pendant le mois d'allaitement-traite (*Figure 22*). En moyenne, le rapport TB/TP est passé de $1,47 \pm 0,31$ en allaitement-traite à $1,25 \pm 0,19$ au premier contrôle laitier officiel. Une nouvelle fois, les variations intra-troupeau étaient plus importantes pendant la phase d'allaitement-traite qu'après sevrage (CV-CLal > 17% v/s CV-CLO1 = 15%).



*Figure 22 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du rapport TB/TP des 65 brebis au cours de la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier officiel (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)*

(5) Acides Gras du lait

De manière générale, la quantité d'acide gras présents dans le lait a diminué de manière fortement significative entre la phase d'allaitement-traite et la traite exclusive (Tableau 10).

	Contrôle laitier				p-value
	CLal 1	CLal 2	CLal 3	CLO 1	
Total AG (mg/g MS)	313,37 ± 49,61 a [0,16]	317,04 ± 64,57 b [0,20]	311,91 ± 45,00 c [0,14]	258,98 ± 33,32 a,b,c [0,13]	< 0,001

Tableau 10 : Quantité totale d'acides gras du lait aux différents contrôles laitiers (moyenne ± écart-type [CV]) (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel) (au sein d'une même ligne, des lettres témoignent d'un effet significatif (p<0,05))

La composition fine en acide gras du lait obtenue pour chaque brebis, a permis de déterminer les 5 acides gras majoritairement présents dans le lait de manière générale : C10:0, C14:0, C16:0, C18:0 et C18:1c9. Plusieurs choses sont à noter concernant ces acides gras, d'une part, la dispersion des valeurs avait plutôt tendance à se réduire après sevrage. D'autre part, sur la période d'étude, il y a eu une augmentation fortement significative du pourcentage moyen d'acides gras à courte et moyenne chaîne (C10:0, C14:0 et C16:0) et en parallèle, une diminution fortement significative du pourcentage moyen d'acides gras à longue chaîne (C18:0 et C18:1c9) (*Tableau 11*).

	Contrôle laitier				p-value
	CLal 1	CLal 2	CLal 3	CLO 1	
C18:1c9	24,03 ± 4,25 a,b [0,18]	23,67 ± 3,94 c [0,17]	22,61 ± 3,57 a,d [0,16]	17,29 ± 2,82 b,c,d [0,16]	< 0,001
C16:0	23,88 ± 1,60 a,b [0,07]	24,18 ± 1,58 c,d [0,07]	24,90 ± 1,98 a,c,e [0,08]	26,90 ± 1,87 b,d,e [0,07]	< 0,001
C18:0	11,06 ± 1,23 a,b [0,11]	10,75 ± 1,23 c [0,11]	10,39 ± 1,31 a,d [0,13]	8,51 ± 0,88 b,c,d [0,10]	< 0,001
C14:0	8,83 ± 1,14 a,b,c [0,13]	9,24 ± 1,01 a,d [0,11]	9,61 ± 1,16 b,e [0,12]	11,44 ± 0,95 c,d,e [0,08]	< 0,001
C10:0	5,88 ± 1,60 a [0,27]	5,98 ± 1,61 b [0,27]	6,36 ± 1,42 c [0,22]	7,88 ± 1,27 a,b,c [0,16]	< 0,001
C12:0	3,29 ± 0,87 a [0,26]	3,33 ± 0,83 b [0,25]	3,50 ± 0,79 c [0,23]	4,38 ± 0,76 a,b,c [0,17]	< 0,001
C4:0	3,21 ± 0,25 a,b [0,08]	3,16 ± 0,41 c,d [0,13]	3,04 ± 0,23 a,c,e [0,07]	2,96 ± 0,21 b,d,e [0,07]	< 0,001
C6:0	2,83 ± 0,39 a [0,14]	2,85 ± 0,50 b [0,18]	2,87 ± 0,36 c [0,13]	3,11 ± 0,28 a,b,c [0,09]	< 0,001
C8:0	2,03 ± 0,43 a [0,21]	2,06 ± 0,48 b [0,23]	2,11 ± 0,39 c [0,19]	2,42 ± 0,32 a,b,c [0,13]	< 0,001
C18:2	1,58 ± 0,18 [0,11]	1,57 ± 0,19 [0,12]	1,58 ± 0,17 [0,11]	1,58 ± 0,17 [0,11]	NS
C17:0	1,05 ± 0,12 a,b,c [0,11]	1,00 ± 0,10 a,d,e [0,10]	0,94 ± 0,10,b,d,f [0,11]	0,75 ± 0,08 c,e,f [0,10]	< 0,001
C18:1t11	1,01 ± 0,12 [0,12]	0,95 ± 0,11 [0,12]	0,96 ± 0,12 [0,12]	0,98 ± 0,12 [0,13]	NS
C18:3	0,84 ± 0,10 [0,12]	0,83 ± 0,10 [0,13]	0,83 ± 0,09 [0,10]	0,84 ± 0,09 [0,11]	NS
C15:0	0,79 ± 0,14 a [0,18]	0,79 ± 0,14 b [0,17]	0,81 ± 0,11 c [0,14]	0,98 ± 0,09 a,b,c [0,09]	< 0,001
C16:1	0,65 ± 0,11 [0,17]	0,65 ± 0,10 [0,16]	0,64 ± 0,09 [0,15]	0,62 ± 0,10 [0,16]	NS

C18:1c11	0,55 ± 0,10 a [0,18]	0,53 ± 0,11 b [0,20]	0,53 ± 0,07 c [0,14]	0,58 ± 0,06 a,b,c [0,11]	0,003
C17:0ai	0,50 ± 0,05 a,b [0,10]	0,50 ± 0,05 c [0,10]	0,48 ± 0,05 a,d [0,11]	0,43 ± 0,04 b,c,d [0,10]	< 0,001
C17:0i	0,49 ± 0,05 a,b [0,10]	0,48 ± 0,05 c,d [0,11]	0,47 ± 0,04 a,c,e [0,09]	0,45 ± 0,04 b,d,e [0,09]	< 0,001
C18:2c9t11	0,38 ± 0,04 a [0,12]	0,37 ± 0,04 b [0,12]	0,38 ± 0,04 c [0,12]	0,41 ± 0,05 a,b,c [0,13]	< 0,001
C18:1t13t14	0,36 ± 0,09 [0,26]	0,37 ± 0,20 [0,53]	0,32 ± 0,06 [0,19]	0,34 ± 0,05 [0,13]	NS
C15:0ai	0,30 ± 0,06 a,b,c [0,20]	0,32 ± 0,07 a,d [0,22]	0,32 ± 0,06 b,e [0,18]	0,42 ± 0,05 c,d,e [0,12]	< 0,001
C18:1t16	0,23 ± 0,03 a,b,c [0,13]	0,21 ± 0,03 a,d [0,13]	0,21 ± 0,02 b,e [0,12]	0,20 ± 0,02 c,d,e [0,12]	< 0,001
C15:0i	0,21 ± 0,04 a [0,18]	0,22 ± 0,04 b [0,20]	0,21 ± 0,03 c [0,16]	0,26 ± 0,03 a,b,c [0,11]	< 0,001
C18:1t12	0,21 ± 0,03 [0,16]	0,21 ± 0,03 [0,15]	0,20 ± 0,03 [0,13]	0,21 ± 0,02 [0,10]	NS
C18:2t11c15	0,18 ± 0,03 [0,15]	0,17 ± 0,03 [0,16]	0,17 ± 0,03 [0,18]	0,17 ± 0,03 [0,16]	NS
C18:1t6t7t8	0,16 ± 0,02 a,b,c [0,12]	0,16 ± 0,02 a,d,e [0,10]	0,15 ± 0,02 b,d [0,10]	0,15 ± 0,03 c,e [0,19]	< 0,001
C18:1t9	0,16 ± 0,02 [0,11]	0,16 ± 0,02 [0,11]	0,15 ± 0,01 [0,09]	0,16 ± 0,01 [0,09]	NS
C18:1t10	0,14 ± 0,02 a [0,17]	0,14 ± 0,02 b [0,17]	0,14 ± 0,02 c [0,18]	0,15 ± 0,02 a,b,c [0,14]	< 0,001
C18:1c12	0,10 ± 0,02 a [0,25]	0,10 ± 0,02 b [0,18]	0,09 ± 0,02 c [0,19]	0,09 ± 0,02 a,b,c [0,19]	0,02
C14:0i	0,09 ± 0,02 a,b,c [0,23]	0,11 ± 0,02 a,d [0,23]	0,11 ± 0,02 b,e [0,22]	0,13 ± 0,02 c,d,e [0,16]	< 0,001
C14:1	0,09 ± 0,02 a,b,c [0,18]	0,10 ± 0,02 a,d [0,17]	0,10 ± 0,02 b,e [0,19]	0,14 ± 0,02 c,d,e [0,18]	< 0,001
C18:1t15	0,08 ± 0,07 a [0,88]	0,08 ± 0,07 b [0,92]	0,09 ± 0,06 c [0,75]	0,14 ± 0,06 a,b,c [0,43]	< 0,001
C18:1c15	0,07 ± 0,01 a,b,c [0,13]	0,06 ± 0,01 a,d [0,14]	0,06 ± 0,01 b,e [0,13]	0,06 ± 0,01 c,d,e [0,15]	< 0,001
C13:0	0,06 ± 0,02 a [0,26]	0,06 ± 0,02 b [0,25]	0,07 ± 0,01 c [0,22]	0,08 ± 0,01 a,b,c [0,17]	< 0,001
C11:0	0,05 ± 0,03 a [0,47]	0,05 ± 0,02 b [0,51]	0,05 ± 0,02 c [0,43]	0,07 ± 0,02 a,b,c [0,33]	< 0,001
C18:2t9t11	0,05 ± 0,01 [0,19]	0,05 ± 0,01 [0,16]	0,05 ± 0,01 [0,23]	0,05 ± 0,01 [0,26]	NS
C9:0	0,05 ± 0,02 [0,36]	0,05 ± 0,02 [0,38]	0,05 ± 0,02 [0,33]	0,06 ± 0,01 [0,22]	NS
C7:0	0,04 ± 0,01 [0,34]	0,03 ± 0,01 [0,36]	0,04 ± 0,01 [0,31]	0,04 ± 0,01 [0,22]	NS
C13:0i	0,02 ± 0,01 [0,31]	0,02 ± 0,01 [0,26]	0,02 ± 0,01 [0,28]	0,03 ± 0,01 [0,20]	NS
C13:0ai	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	NS
C18:2:t10c12	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	NS
Inconnus	4,48 ± 0,40 [0,09]	4,41 ± 0,35 [0,08]	4,41 ± 0,31 [0,07]	4,54 ± 0,29 [0,06]	NS

Tableau 11 : Pourcentage moyen des différents acides gras composant le lait des 65 brebis aux différents contrôles laitiers (% moyen ± écart-type [CV]) (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel) (au sein d'une même ligne, des lettres témoignent d'un effet significatif ($p < 0,05$))

b) Analyse de la période allaitement-traite chez la brebis

i) Influence du nombre d'agneaux sur le besoin énergétique théorique des brebis

Dans cette étude, les brebis allaitant deux agneaux avaient une production laitière au premier contrôle laitier officiel, après sevrage, significativement plus élevée que les brebis allaitant un seul agneau ($p=0,0008$). Les brebis avec deux agneaux produisaient en moyenne au premier contrôle laitier officiel $3,45 \pm 0,37$ L/j contre $2,99 \pm 0,58$ L/j pour les brebis avec un seul agneau (*Figure 23*). Ainsi, une brebis allaitant deux agneaux avait un besoin énergétique théorique plus élevé qu'une brebis allaitant un seul agneau, devant produire plus pour subvenir au besoin nutritionnel des agneaux à sa charge.

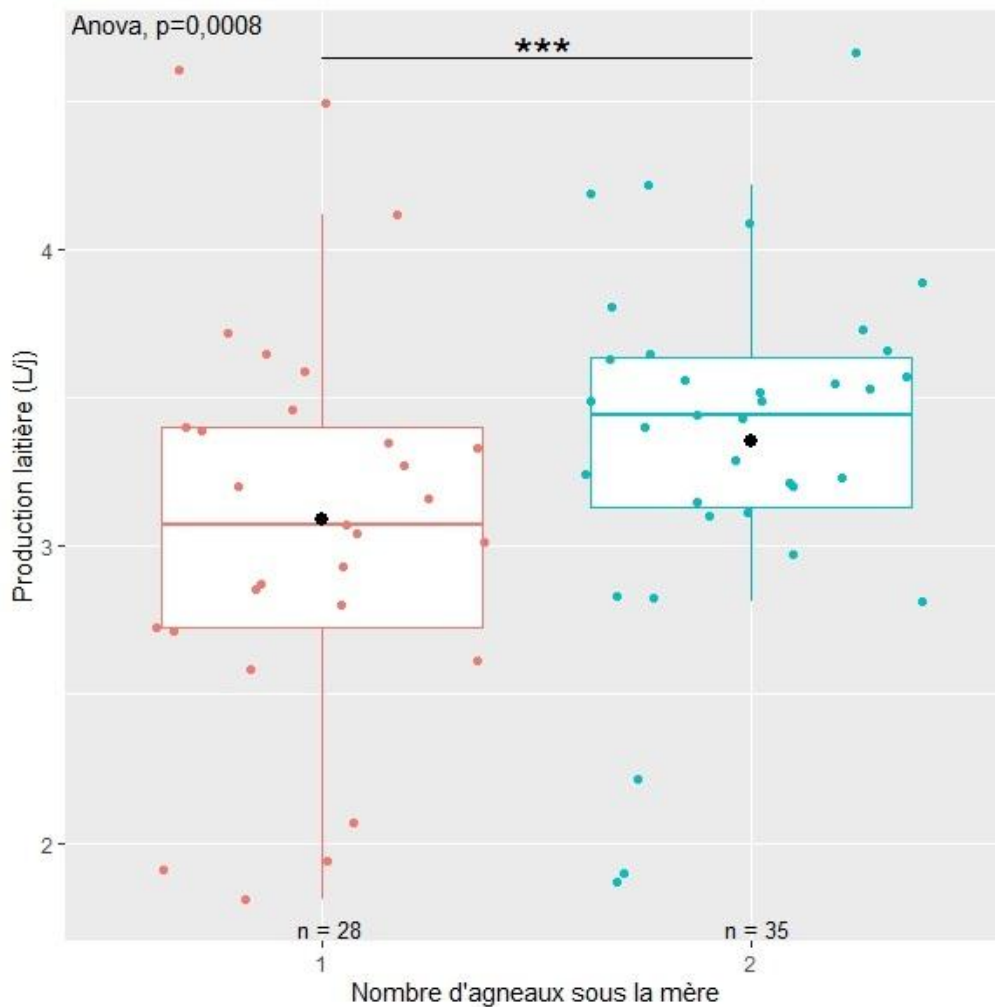


Figure 23 : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction du nombre d'agneaux allaités (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$

Cependant, il y avait une confusion entre le nombre d'agneaux allaités et la taille de portée, puisque les brebis ayant eu une portée simple n'ont allaité qu'un seul agneau et les brebis ayant eu une portée multiple ont allaités deux agneaux, à 5 exceptions près à cause de la mortalité. Seules les brebis avec une portée double avaient une production laitière au premier contrôle laitier qui s'est effectivement révélée significativement plus élevée ($p=0,05$) (Figure 24). Les brebis ayant eu une portée double avaient en moyenne une production laitière au premier contrôle laitier officiel plus importante, $3,48 \pm 0,55$ L/j, contre $3,12 \pm 0,63$ L/j pour celles ayant eu une portée simple et $3,04 \pm 0,72$ L/j pour celles ayant eu une portée de trois agneaux ou plus ($p<0,05$). Par contre, il n'y avait aucune différence significative de production laitière entre les brebis avec un agneau et celles avec trois agneaux ou plus ($p=NS$) (Figure 24).

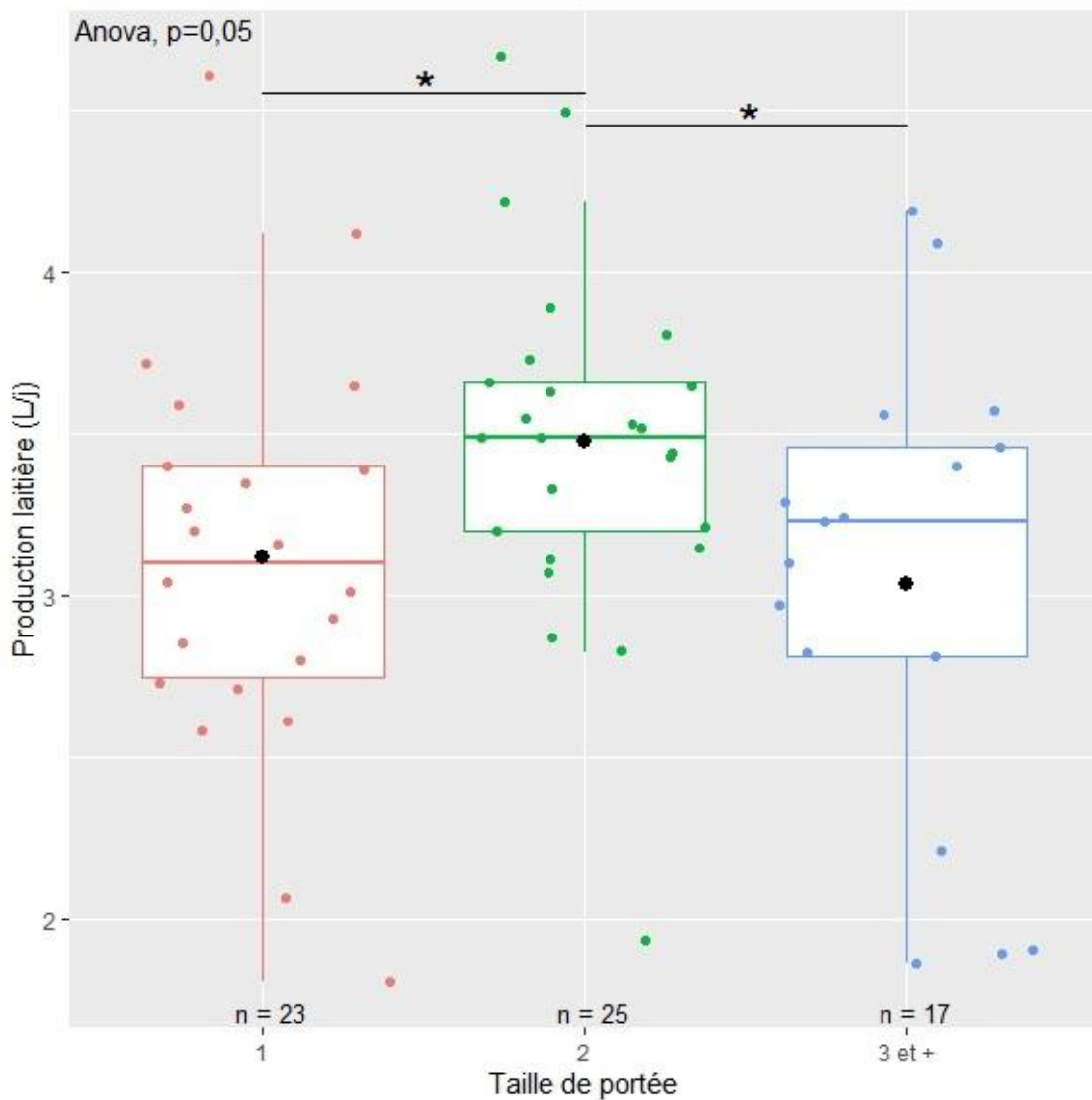


Figure 24 : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction de la taille de portée (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$

ii) Influence du besoin énergétique théorique

(1) Sur le statut métabolique des brebis

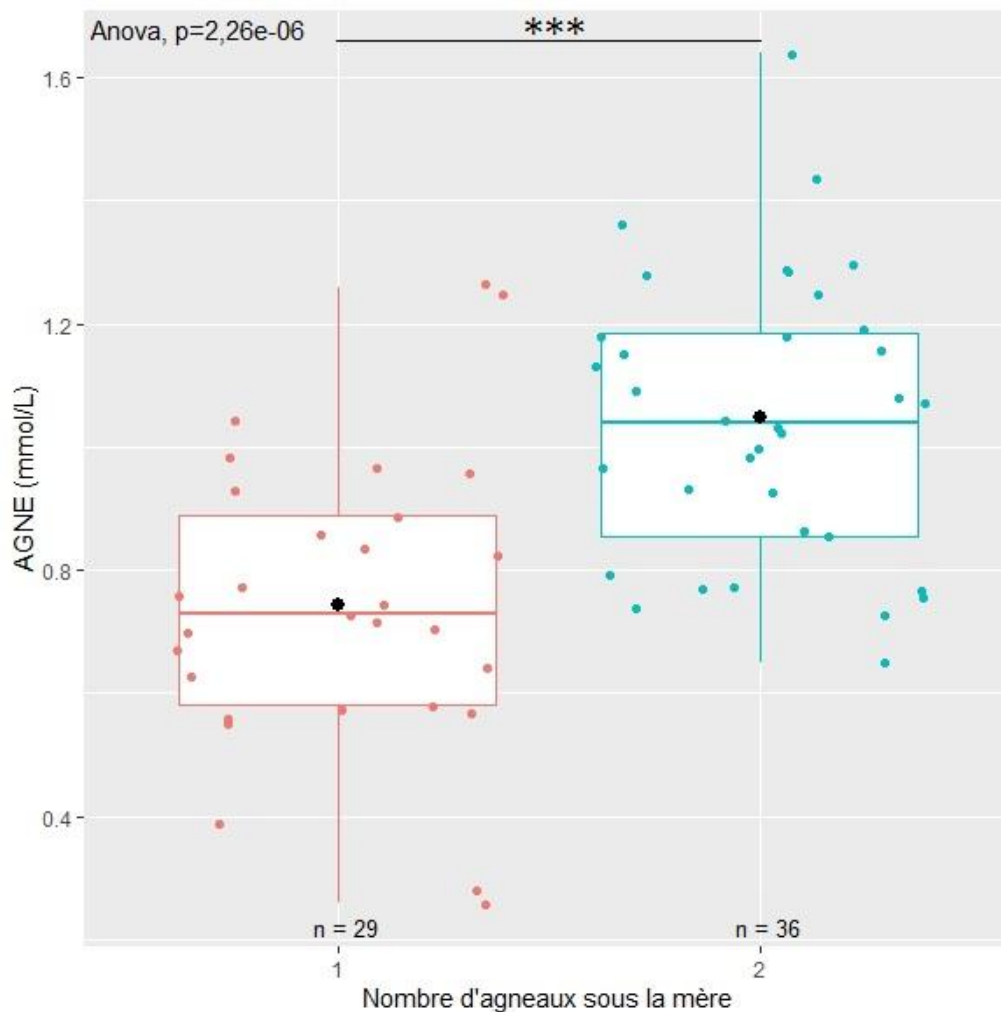
La variation de la NEC sur la période d'allaitement-traite ($\Delta\text{NEC} = \text{NEC}_{\text{Sevrage}} - \text{NEC}_{\text{MB}}$) n'était pas significativement différente entre les brebis ayant un besoin énergétique théorique plus élevé et les brebis ayant un besoin énergétique théorique plus bas. Toutefois, pour les brebis ayant une plus forte variation de la NEC sur la période d'allaitement, qui ont perdu plus de 0,25 point de NEC, 5 avaient un seul agneau à nourrir et 13 deux. Sans que cela ne soit significatif, les brebis ayant le plus de besoin énergétique ont numériquement la plus forte perte de NEC, soit la plus forte mobilisation des réserves énergétiques (*Tableau 12*).

Statut métabolique		Besoin énergétique théorique (déduit du nombre d'agneaux sous la mère)	
		Bas (1 agneau)	Élevé (2 agneau)
Variation de NEC (période allaitement-traite)	Stable/Gain	15	13
	Faible perte ($\leq -0,25$ point)	9	9
	Forte perte ($> -0,25$ point)	5	13
	Fisher exact, $p = 0,22$		
AGNE	$\geq 0,90$ mmol/L	7	25
	$< 0,90$ mmol/L	22	10
	Fisher exact, $p = 0,0004$		
BHB	$\geq 1,50$ mmol/L	15	13
	$< 1,50$ mmol/L	14	22
	Fisher exact, $p = 0,31$		

Tableau 12 : Répartition des brebis selon leur besoin énergétique théorique et leur statut métabolique

Les brebis ayant un besoin énergétique théorique plus important étaient celles classées avec un dosage de la concentration plasmatique en AGNE plus élevé pendant la phase d'allaitement ($\geq 0,90$ mmol/L) et inversement, les brebis classées avec un dosage d'AGNE plus bas ($< 0,90$ mmol/L) étaient celles avec un besoin énergétique théorique moindre ($p < 0,0001$). En moyenne, les brebis qui ont allaité un seul agneau, avaient une concentration plasmatique en AGNE maximale de $0,74 \pm 0,24$ mmol/L pendant l'allaitement, contre $1,04 \pm 0,23$ pour les brebis qui ont allaité deux agneaux (*Figure 25*). Par conséquent,

plus le besoin énergétique sera important, plus il y aura de risque que le déficit énergétique soit majeur et que la lipomobilisation soit plus importante.



*Figure 25 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs d'AGNE des 65 brebis au CLal 2 en fonction du nombre d'agneaux allaités (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$*

Par contre, aucune différence significative ne peut être mise en évidence concernant le dosage de la concentration sanguine en BHB sur la période d'allaitement-traité (Tableau 12).

(2) Sur les taux du lait

Au regard du Tableau 13, il est ressorti que les brebis avec un besoin énergétique théorique plus élevé avaient un TP moyen pendant la phase d'allaitement inférieur à celui des brebis avec un besoin énergétique théorique plus bas. Concernant les valeurs de TB, tout comme le rapport TB/TP, aucune relation significative n'est ressortie avec le nombre d'agneaux allaités.

		Taux butyreux		Taux protéique		TB/TP	
		Bas (≤ 65 g/L)	Haut (> 65 g/L)	Bas (< 46 g/L)	Haut (≥ 46 g/L)	Bas ($\leq 1,45$)	Haut ($> 1,45$)
Besoin énergétique théorique (déduit du nombre d'agneaux sous la mère)	Élevé (2 agneaux)	18	17	25	10	16	19
	Bas (1 agneau)	10	19	7	22	15	14
	p (Fisher exact)	0,21		0,0004		0,81	

Tableau 13 : Répartition des brebis selon leur taux butyreux et protéique ainsi que le rapport des deux selon leur besoin énergétique théorique

Les brebis allaitant 2 agneaux, et plus particulièrement, celles ayant eu 3 agneaux ou plus avaient en moyenne un TB et un TP moyens pendant la phase d'allaitement-traité significativement plus bas que les autres (*Figure 26 et Tableau 14*).

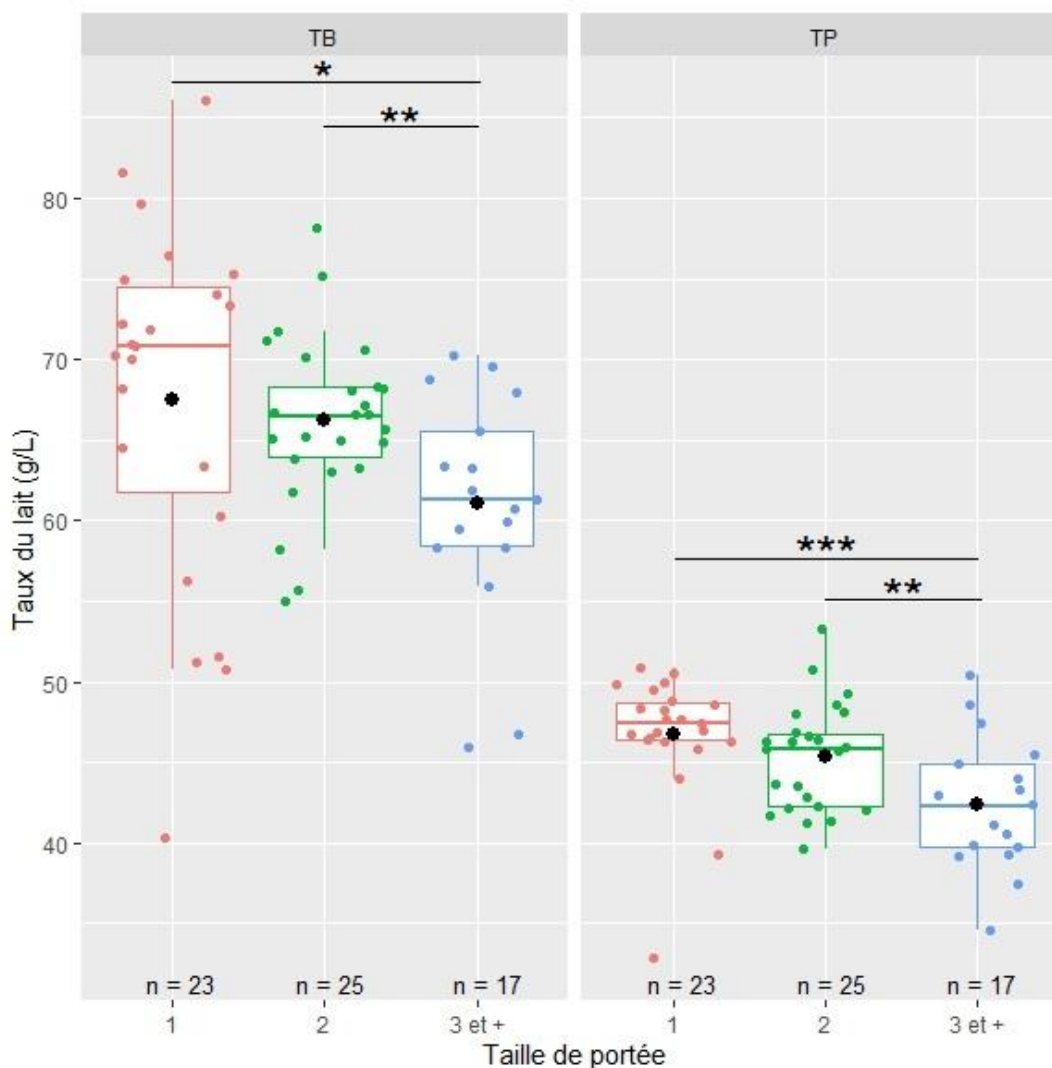


Figure 26 : Dispersion et moyenne (point noir) des taux moyen du lait en allaitement-traité en fonction de la taille de portée (*** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Taux du lait (g/L)	Taille de portée		
	1	2	3 +
TB	67,50 ± 11,28 a	66,20 ± 5,31 b	61,00 ± 6,94 a,b
TP	46,80 ± 3,87 a	45,40 ± 3,30 b	42,40 ± 4,10 a,b

Tableau 14 : Taux butyreux et protéique moyens pendant la phase d'allaitement-traite en fonction de la taille de portée (au sein d'une même ligne, des lettres témoignent d'un effet significatif ($p < 0,05$))

iii) Influence de l'âge des brebis

(1) Sur leur statut métabolique

L'âge des brebis ne semblait pas avoir d'influence sur les différents paramètres permettant d'approcher leur statut métabolique (besoin énergétique théorique, NEC, AGNE) hormis sur le dosage des BHB, mais uniquement pendant la phase d'allaitement-traite. Au cours des trois contrôles réalisés pendant l'allaitement-traite, les brebis plus jeunes du troupeau avaient un dosage en BHB significativement (CLal 1 : $p=0,02$ et CLal 2 : $p=0,03$) voire très significativement (CLal 3 : $p=0,005$) plus bas que les brebis plus âgées (Figure 27).

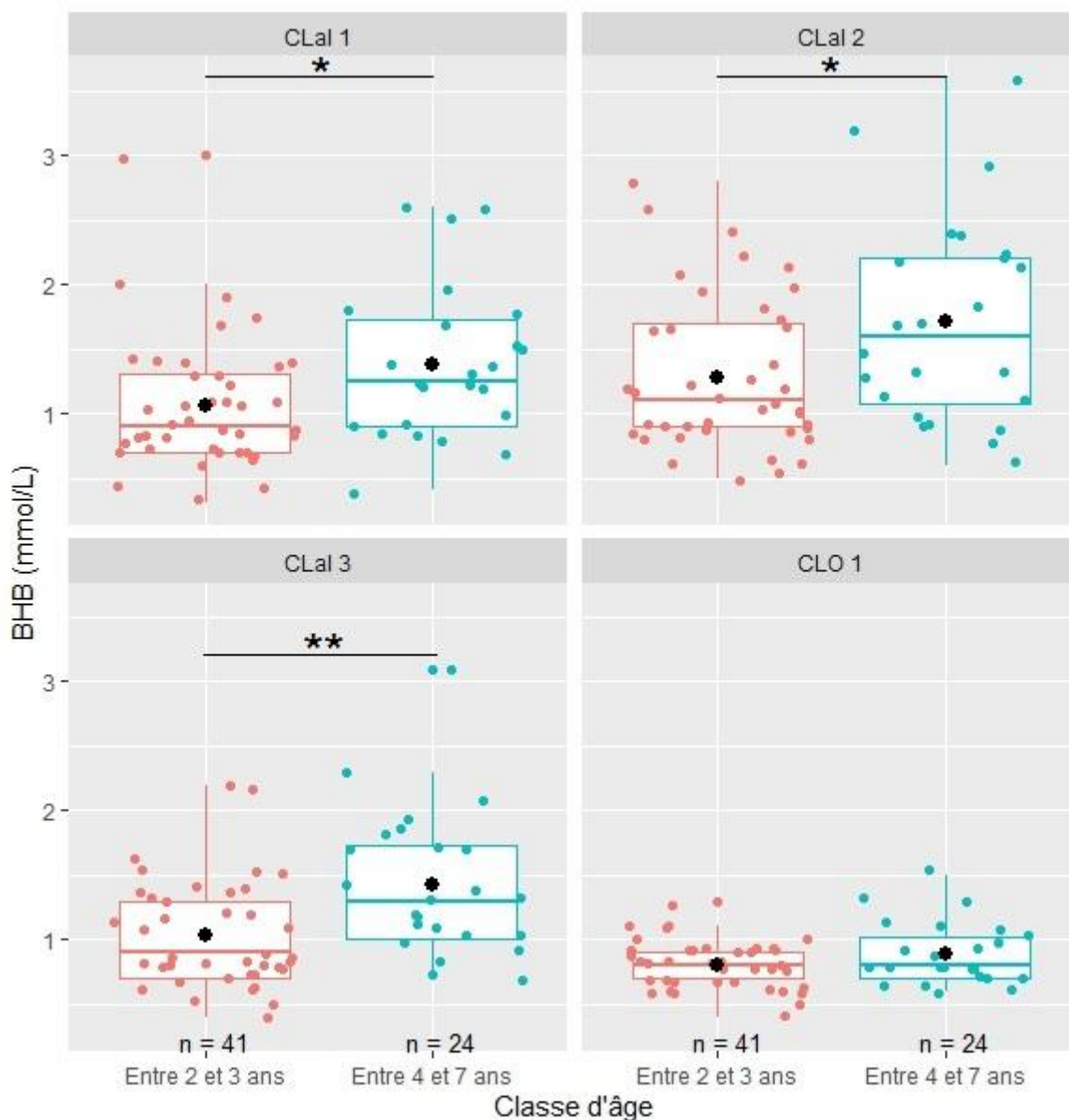


Figure 27 : Distribution et moyenne (point noir) des valeurs du dosage sanguin des BHB en fonction de la classe d'âge des 65 brebis au cours des différentes périodes de prélèvements (CLal : contrôle laitier allaitement ; CLO : contrôle laitier officiel ; *** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

(2) Sur la production laitière et les taux du lait

En se basant sur la production laitière journalière aux premier contrôle laitier officiel, cette dernière était significativement plus basse pour les brebis âgées de 4 à 7 ans, $2,98 \pm 0,85$ L/j contre $3,39 \pm 0,42$ L/j en moyenne pour les brebis âgées de 2 à 3 ans ($p=0,01$). Il y a avait également une plus franche dispersion des valeurs et une variabilité inter-individuelle plus importante dans la tranche d'âge de 4 à 7 ans (Figure 28).

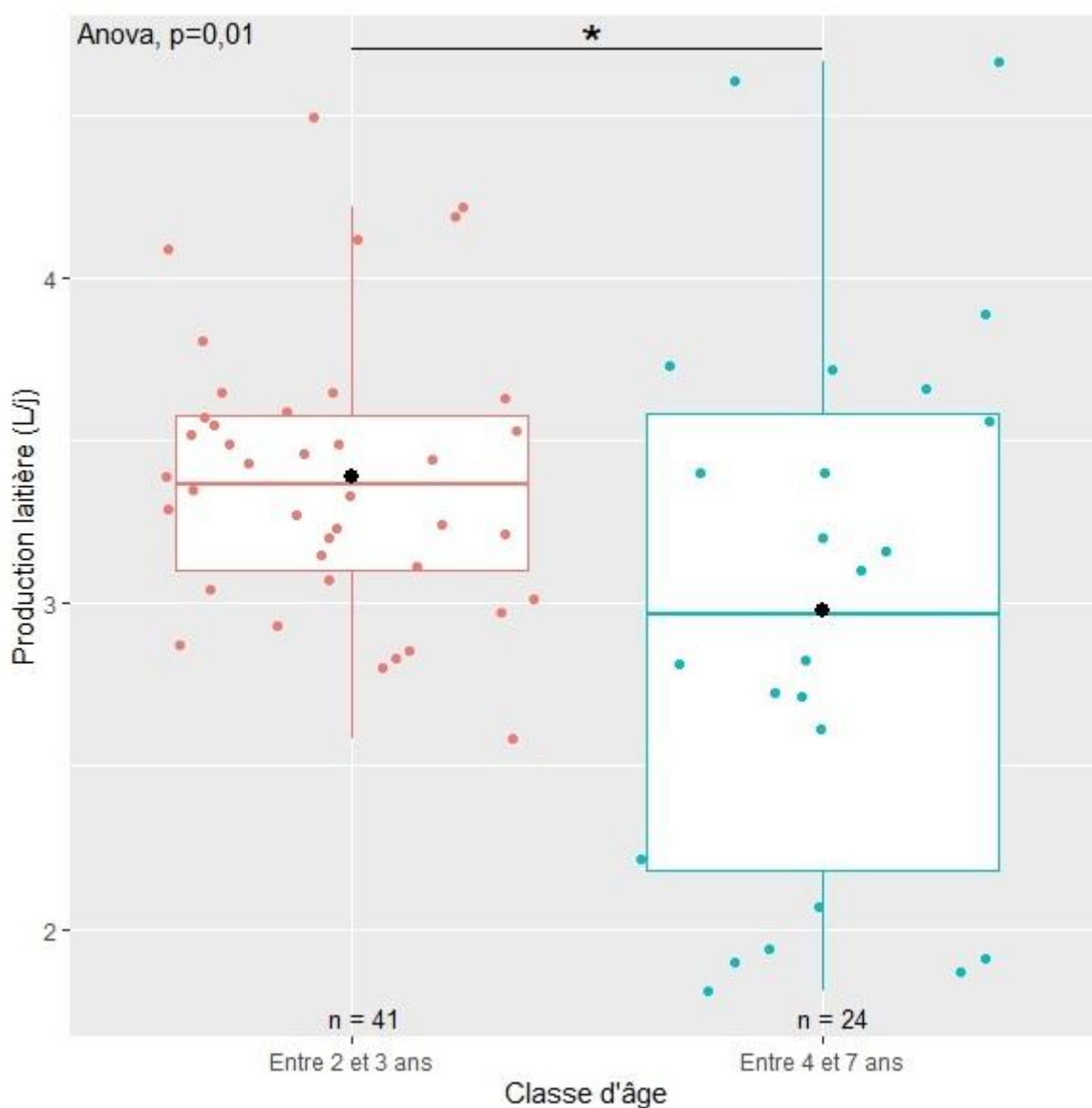


Figure 28 : Distribution et moyenne (point noir) de la production laitière au premier contrôle laitier officiel en fonction de l'âge des brebis (***: $p \leq 0,001$; **: $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Le TP pendant la phase d'allaitement était en moyenne plus bas dans le lait des brebis âgées de 4 à 7 ans ($p=0,02$). Aucune différence significative n'a été mise en évidence pour le TB entre les différentes classes d'âge ($p=NS$) (Figure 29). Il n'y avait pas non plus de différence significative concernant la composition en acides gras selon l'âge des brebis.

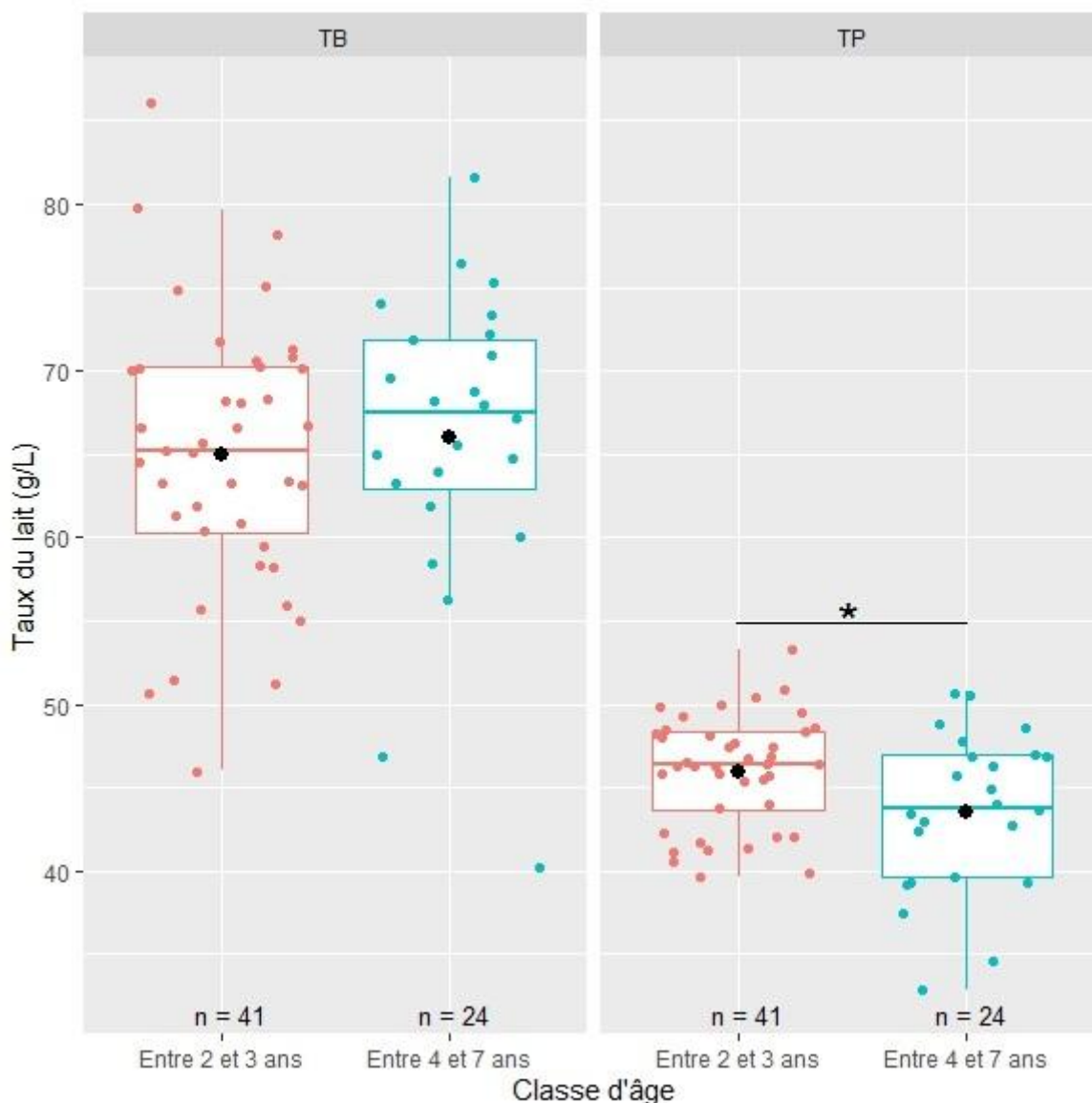


Figure 29 : Dispersion et moyenne (point noir) des taux moyen du lait en allaitement-traité en fonction de l'âge des brebis (** $p \leq 0,001$; ** $: 0,001 < p \leq 0,1$; * $: 0,1 < p \leq 0,5$)

iv) Relation entre les différents indicateurs du statut métabolique et de la production laitière des brebis

D'après la Figure 30, qui reprend les coefficients de corrélation entre les résultats des différents indicateurs du statut métabolique des brebis, de leur production et de leur composition laitière obtenus aux quatre différents chantiers de prélèvements, il n'a été mis en évidence aucune corrélation franche avec entre la valeur des BHB mesurés et les autres paramètres. À noter cependant, qu'il avait une très faible corrélation entre les valeurs des BHB et des AGNE aux quatre contrôles, et que contre toute attente, la tendance était négative.

En revanche, il existait une corrélation faiblement négative entre la valeur des AGNE plasmatiques et la NEC, le poids et la variation de NEC ($\Delta NEC = NEC_{CL} - NEC_{MB}$) en début de période allaitement-traite seulement (CLal 1 et CLal 2). La valeur des AGNE a faiblement corrélé avec les valeurs du taux du lait à partir du CLal 3, de façon positive avec le TB et négative avec le TP. Par rapport à la composition en acide gras du lait, la valeur des AGNE était d'une part, fortement et négativement corrélée aux pourcentages d'acides gras C10:0 et C14:0 aux CLal 1 et CLal 2 puis faiblement aux CLal 3 et CLO 1. D'autre part, elle était fortement, et positivement cette fois, corrélée aux pourcentages d'acides gras longs C18:0 et C18:1c9 aux CLal 1 et CLal 2 puis faiblement au CLal 3. Concernant le pourcentage en acides gras moyen C16:0, la corrélation était faible et négative à partir du CLal 2 (*Figure 30*).

Quant à la NEC, elle était corrélée positivement et de façon plus ou moins forte au poids vif correspondant. De façon générale, les mêmes relations existaient entre la NEC ou le poids des brebis et les différents paramètres, mais elles étaient plus fortes avec la NEC. Avant sevrage, en allaitement-traite (CLal 1, CLal 2 et CLal 3), elle était faiblement et positivement corrélée aux taux du lait (excepté avec le TB au CLal 1). Au CLal 1 et CLal 2, il y avait une corrélation positive avec les pourcentages d'acides gras courts C10:0 (corrélation forte) et moyens C14:0 et C16:0 (corrélation faible). À l'inverse, il y avait une corrélation négative avec le pourcentage d'acides gras longs C18:0 (corrélation forte) et C18:1c9 (corrélation faible). Puis du CLal 3 au CLO 1, les corrélations étaient plus faibles voire inexistantes (*Figure 30*).

Si par contre, on ne s'intéresse plus seulement à la NEC, mais à sa variation ($\Delta NEC = NEC_{CL} - NEC_{MB}$), elle était faiblement et négativement corrélée au TB à partir du CLal 2 et n'a été que faiblement et positivement corrélée au TP uniquement au CLal 1. Avant sevrage, en allaitement-traite (CLal 1, CLal 2 et CLal 3), il y avait une corrélation positive avec les pourcentages d'acides gras courts C10:0 et moyens C14:0 et C16:0 (corrélation faible). À l'inverse, il y avait une corrélation négative avec le pourcentage d'acides gras longs C18:0 (corrélation forte au CLal 1 et faible au CLal 2 et CLal 3) et C18:1c9 (corrélation faible). Après sevrage au CLO 1, les corrélations étaient plus faibles voire inexistantes (*Figure 30*).

Par ailleurs, il y avait une corrélation négative forte entre la NEC à la mise-bas et la variation globale de la NEC sur la période allaitement-traite ($\Delta NEC = NEC_{Sevrage} - NEC_{MB}$) ($R^2 = -0,58$). Les plus fortes variations de la NEC sur la période allaitement-traite ($> -0,25$ point) étaient associées aux brebis ayant une NEC à la mise-bas supérieure ou égale à 3 et au contraire, les brebis avec une NEC à la mise-bas inférieure à 3 avaient une NEC stable ou en hausse sur cette période (*Tableau 15*).

Concernant la relation entre les taux et la composition en acides gras du lait, au CLal 1, les taux étaient faiblement corrélés aux pourcentages d'acides gras courts (C10:0) et moyens (C14:0 et C16:0) (corrélations négatives avec le TB et positives avec le TP) et aux pourcentages d'acides gras longs (C18:0 et C18:1c9) (corrélations positives avec le TB et négatives avec le TP). Au CLal 2, si les conclusions étaient les mêmes pour le TP, cette fois le TB était faiblement et positivement corrélé aux pourcentages d'acides gras courts (C10:0) et moyens (C14:0 et C16:0) et négativement aux pourcentages d'acides gras longs (C18:0 et C18:1c9). Au CLal 3 et CLO 1, il était plus difficile d'établir des conclusions. Et enfin, globalement, aux quatre contrôles, il y avait une forte corrélation négative entre les pourcentages d'acides gras courts et moyens et les pourcentages d'acides gras longs (Figure 30).

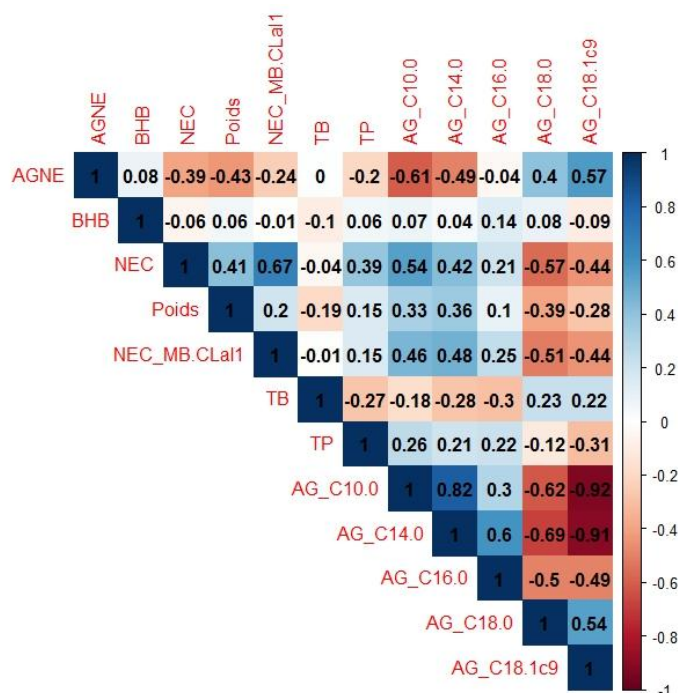


Figure 30.1 : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 1 (NEC_MB.CLal1 : variation de la NEC entre la mise-bas et le premier contrôle en allaitement-traite ($\Delta NEC = NEC_{CLal1} - NEC_{MB}$))

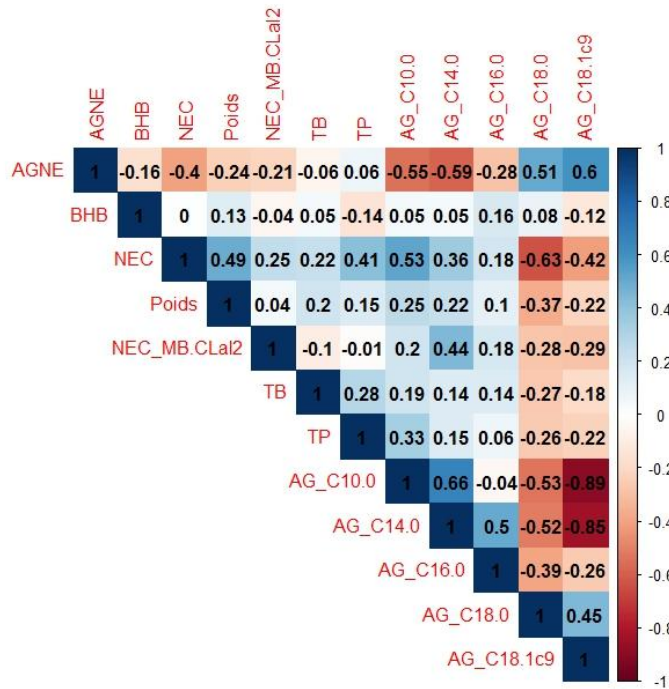


Figure 30.2 : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 2 (NEC_MB.CLal2 : variation de la NEC entre la mise-bas et le second contrôle en allaitement-traite ($\Delta NEC = NEC_CLal2 - NEC_MB$))

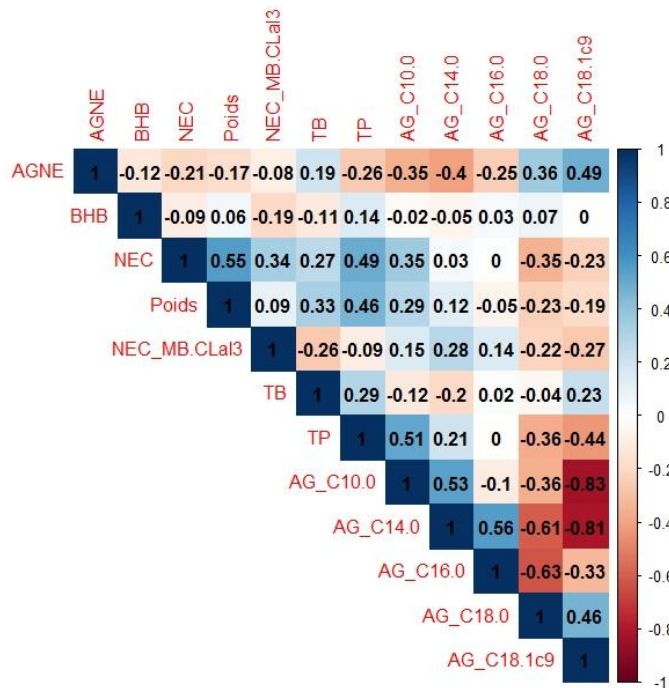


Figure 30.3 : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLal 3 (NEC_MB.CLal3 : variation de la NEC entre la mise-bas et le troisième contrôle en allaitement-traite ($\Delta NEC = NEC_CLal3 - NEC_MB$))

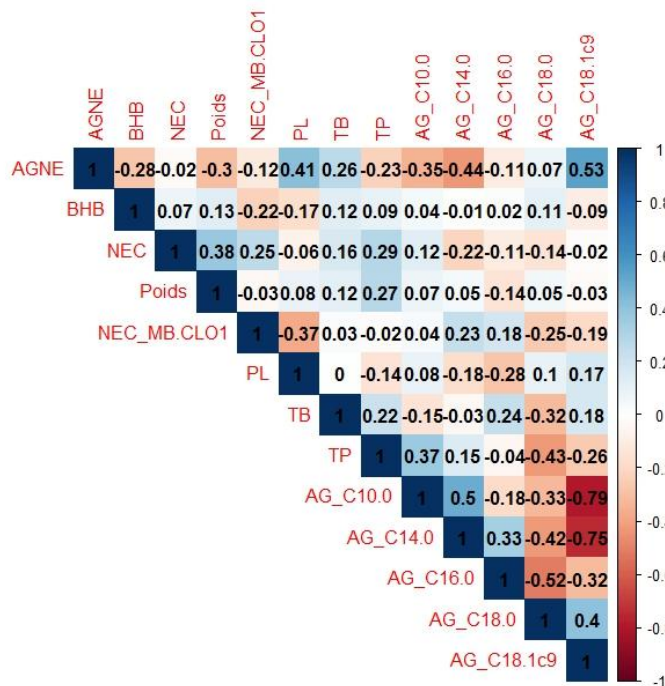


Figure 30.4 : Matrice des corrélations de Pearson entre les différentes variables mesurées chez les 65 brebis au CLO 1 (NEC_MB.CLO1 : variation de la NEC entre la mise-bas et le premier contrôle laitier officiel ($\Delta NEC = NEC_CLO1 - NEC_MB$))

Statut métabolique		NEC juste après la mise-bas		
		$\leq 2,9$	[3 ; 3.2]	$\geq 3,3$
Variation de NEC (période allaitement-traité)	Stable/Gain	14	11	4
	Faible perte ($\leq -0,25$ point)	6	7	5
	Forte perte ($> -0,25$ point)	1	10	7
	Fisher exact, p = 0,03			

Tableau 15 : Répartition des brebis selon leur NEC évaluée à la mise-bas en fonction de leur variation de NEC sur la période allaitement-traité ($\Delta NEC = NEC_Sevrage - NEC_MB$)

c) Analyse de la période d'allaitement chez l'agneau

i) Le poids à la naissance des agneaux

Le poids moyen à la naissance des agneaux de l'étude était de $4,13 \pm 0,81$ kg (CV=20%), le plus petit poids étant de 1,95 kg et le plus gros de 5,87 kg. Le poids à la naissance peut dépendre de multiples facteurs, à la fois propres à l'agneau et maternels.

(1) Influence du sexe sur le poids à la naissance des agneaux

Il y avait une différence statistique significative des poids à la naissance entre les agneaux mâles et femelles de l'étude ($p=0,03$). En moyenne, les femelles pesaient $3,92 \pm 0,80$ kg à la naissance et les mâles $4,25 \pm 0,85$ kg (*Figure 31*).

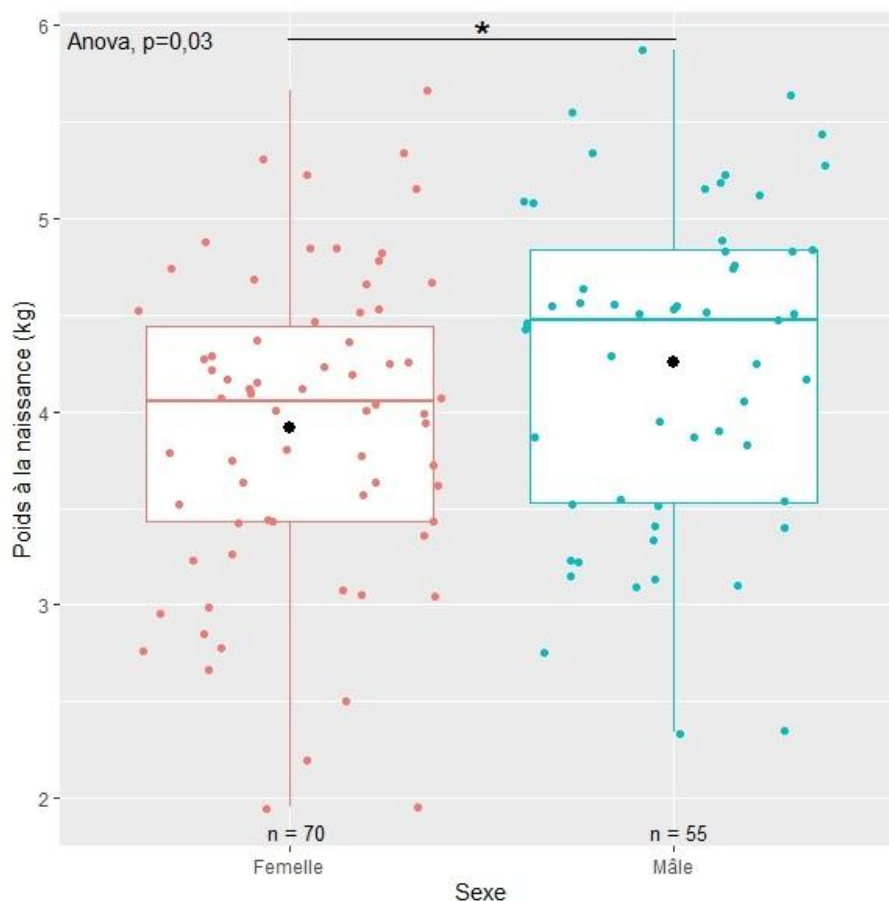
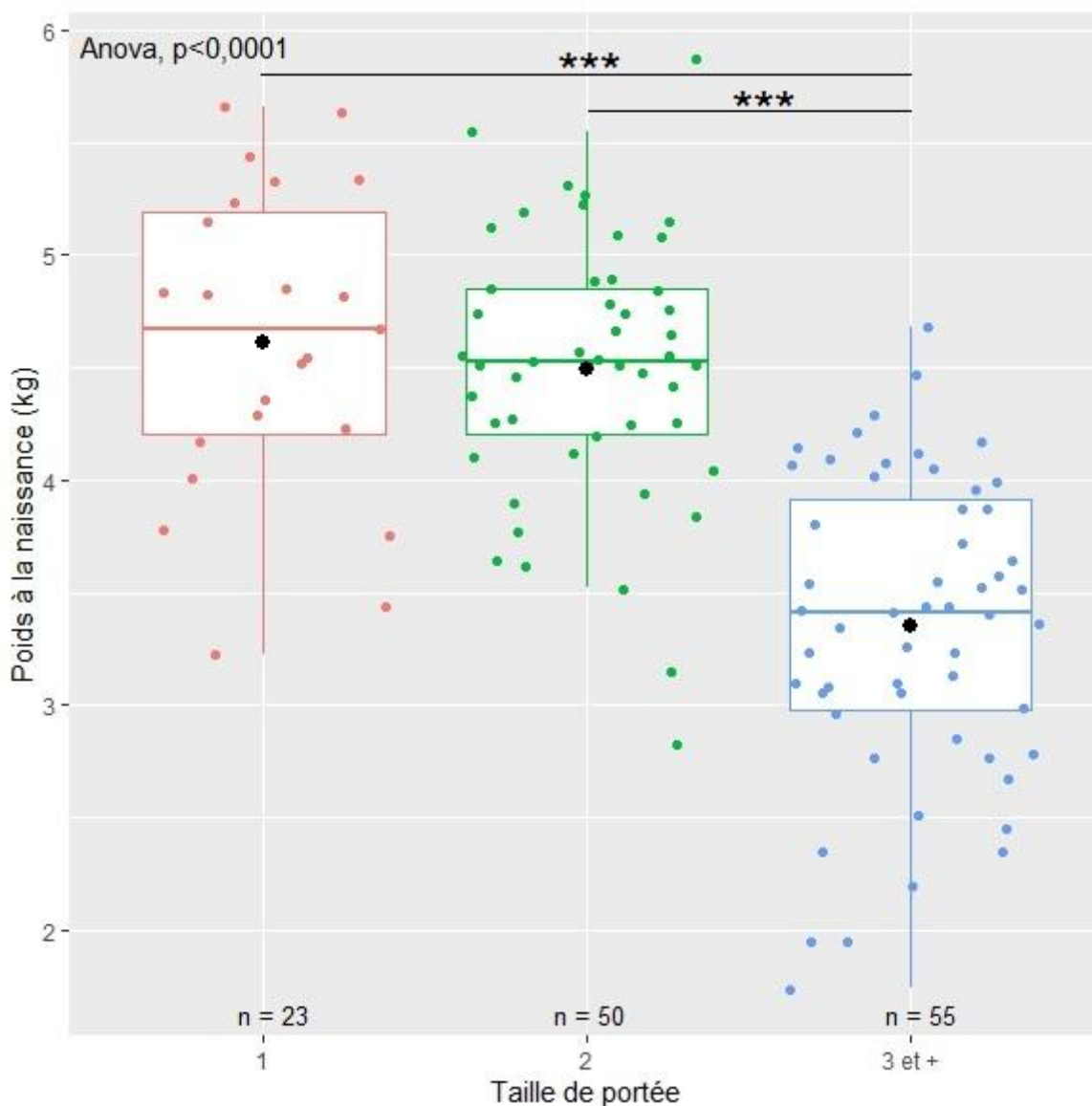


Figure 31 : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction du sexe (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

(2) Influence de la taille de portée sur le poids à la naissance des agneaux

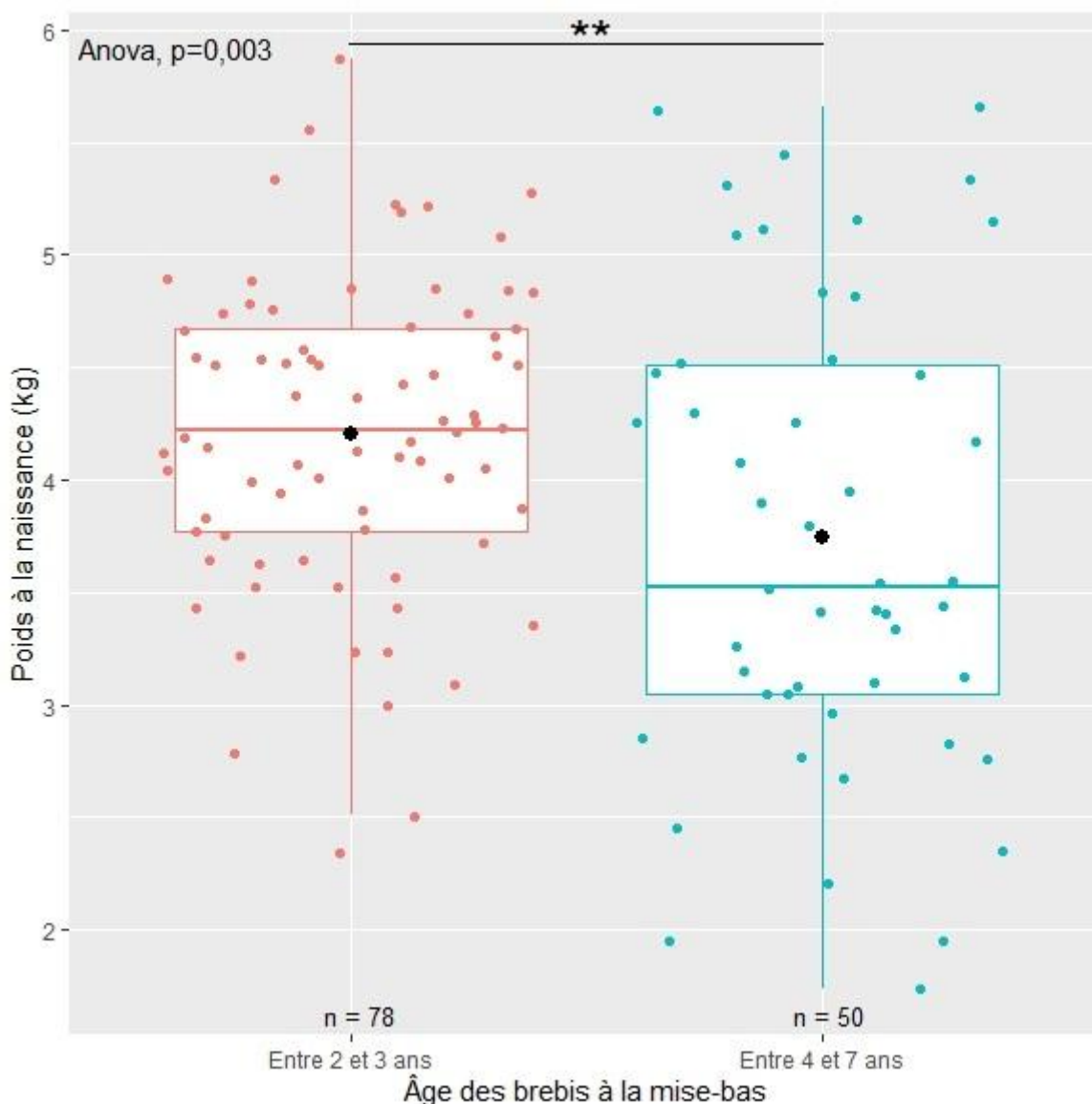
Il y avait un effet fortement significatif de la taille de portée sur le poids à la naissance ($p < 0,0001$). Les comparaisons par paire des moyennes ont mis en évidence une différence significative entre les portées triples ou plus et les portées simples et doubles ($p < 0,0001$). Toutefois, il n'y avait pas de différence significative entre les agneaux issus de portées simples et doubles. Les agneaux issus de portées triples ou plus étaient moins lourds à la naissance, pesant en moyenne $3,35 \pm 0,68$ kg, contrairement aux agneaux issus de portées simples ou doubles, pesant eux, en moyenne respectivement $4,61 \pm 0,69$ kg et $4,49 \pm 0,59$ (*Figure 32*).



*Figure 32 : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction de la taille de portée dont ils sont issus (***: $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)*

(3) Influence de l'âge des mères sur le poids à la naissance des agneaux

Les agneaux issus des mères les plus jeunes, entre 2 et 3 ans, étaient très significativement plus lourds à la naissance par rapport aux agneaux issus de mères plus âgées, entre 4 et 7 ans ($p=0,003$). Ils pesaient en moyenne plus de 4 kg contrairement aux autres (en moyenne, $4,20 \pm 0,69$ kg v/s $3,74 \pm 1,05$ kg) (Figure 33).



*Figure 33 : Distribution et moyenne (point noir) du poids à la naissance des agneaux en fonction de l'âge de leur mère (**: $p \leq 0,001$; *: $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)*

(4) Relation entre le poids à la naissance des agneaux et l'état corporel des brebis

Au regard de la NEC des brebis en fin de gestation, il n'y avait pas d'effet significatif sur le poids à la naissance des agneaux que les brebis aient parmi les meilleures réserves du troupeau ($NEC \geq 3,3$, $n=16$), les correctes ($NEC [3 - 3,2]$, $n=28$) et les moins bonnes ($NEC \leq 2,9$, $n=21$). Il en était de même lorsque les critères choisis pour jauger l'état corporel des brebis étaient leur poids et leur NEC à la mise-bas.

Cependant, concernant la NEC des brebis à la mise-bas, celles ayant eu une portée triple ou plus avaient très significativement une NEC parmi les plus basses ($\leq 2,9$), contrairement à celles ayant eu une portée simple ou double qui avaient une NEC plus

haute (≥ 3) (Fisher exact, $p=0,004$) (Figure 34). C'est la conséquence d'une perte de NEC plus importante pour les brebis qui attendent plus d'agneaux, ce qui demande plus de ressources. En effet, les brebis ayant eu une forte perte de NEC en fin de gestation ($\geq -0,3$) avaient plutôt et de façon très significative une portée triple ou plus contrairement aux brebis ayant eu une perte de NEC plus faible ($< 0,3$) ou une NEC stable voir un gain de NEC (Fisher exact, $p=0,008$) (Figure 35). Et si effectivement, l'intérêt se porte sur la variation de la NEC des brebis en fin de gestation ($\Delta NEC = NEC_MB - NEC_70j.avantMB$) par rapport au poids à la naissance de leurs agneaux, alors il s'est avéré que les agneaux issus de brebis ayant eu une forte perte de NEC étaient significativement moins lourds (Figure 36).

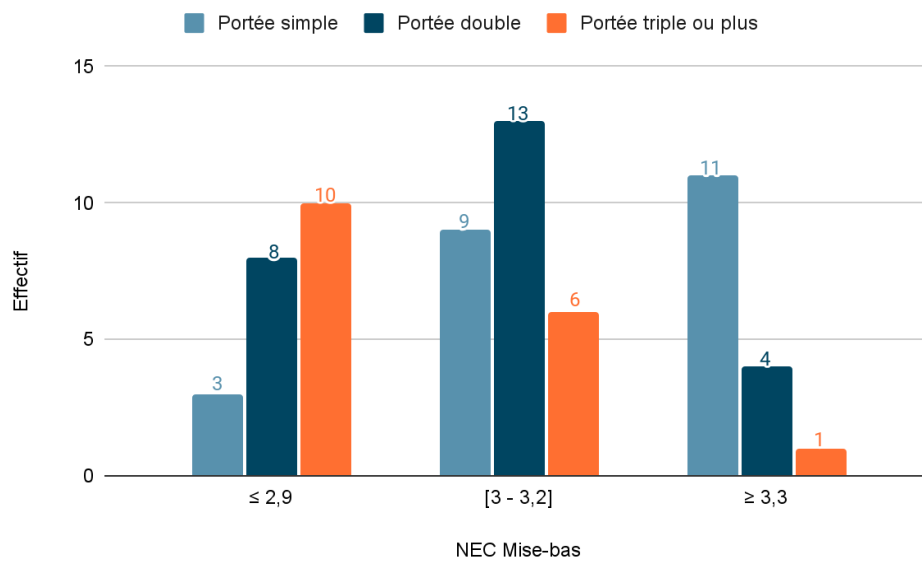


Figure 34 : Répartition des brebis en fonction de leur NEC à la mise-bas, selon leur taille de portée (n = 65)

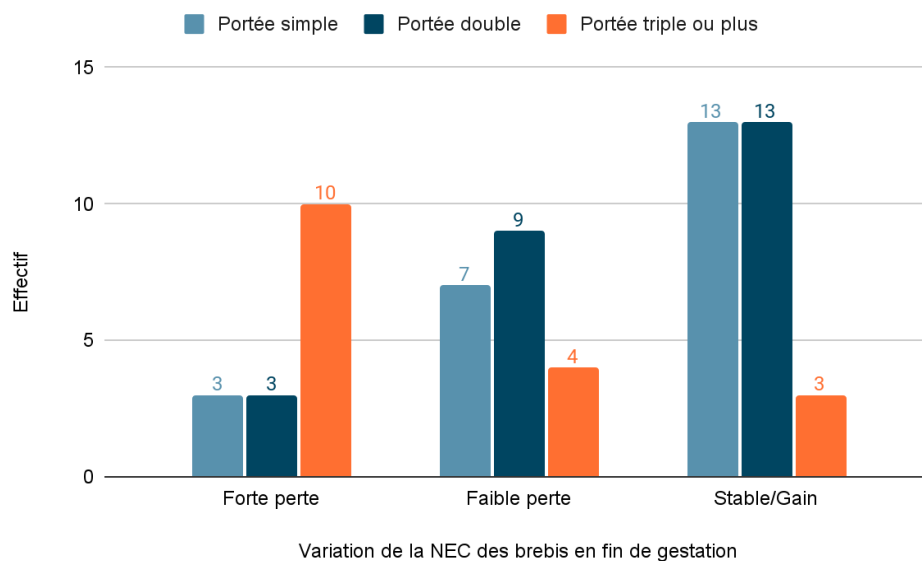


Figure 35 : Répartition des brebis en fonction de leur variation de NEC en fin de gestation ($\Delta NEC = NEC_MB - NEC_70j.avantMB$), selon leur taille de portée (n = 65)

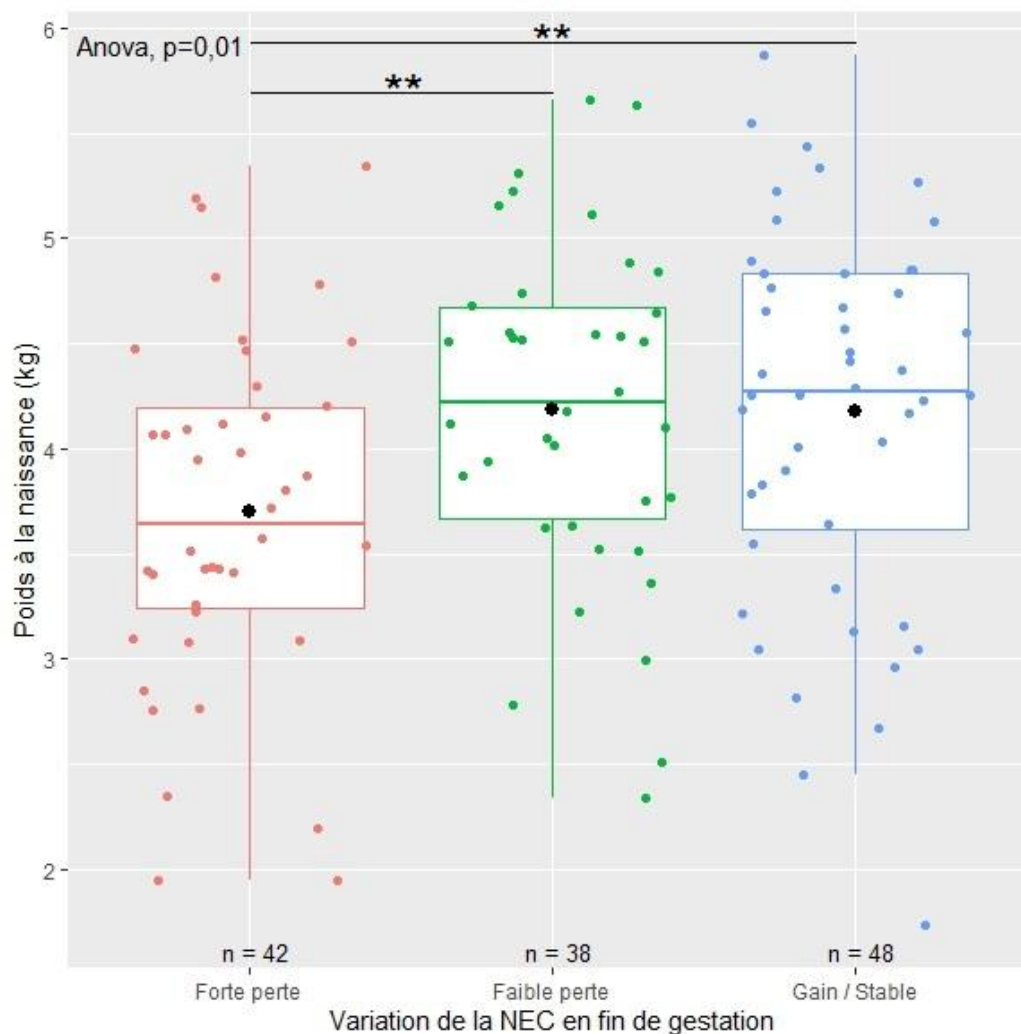


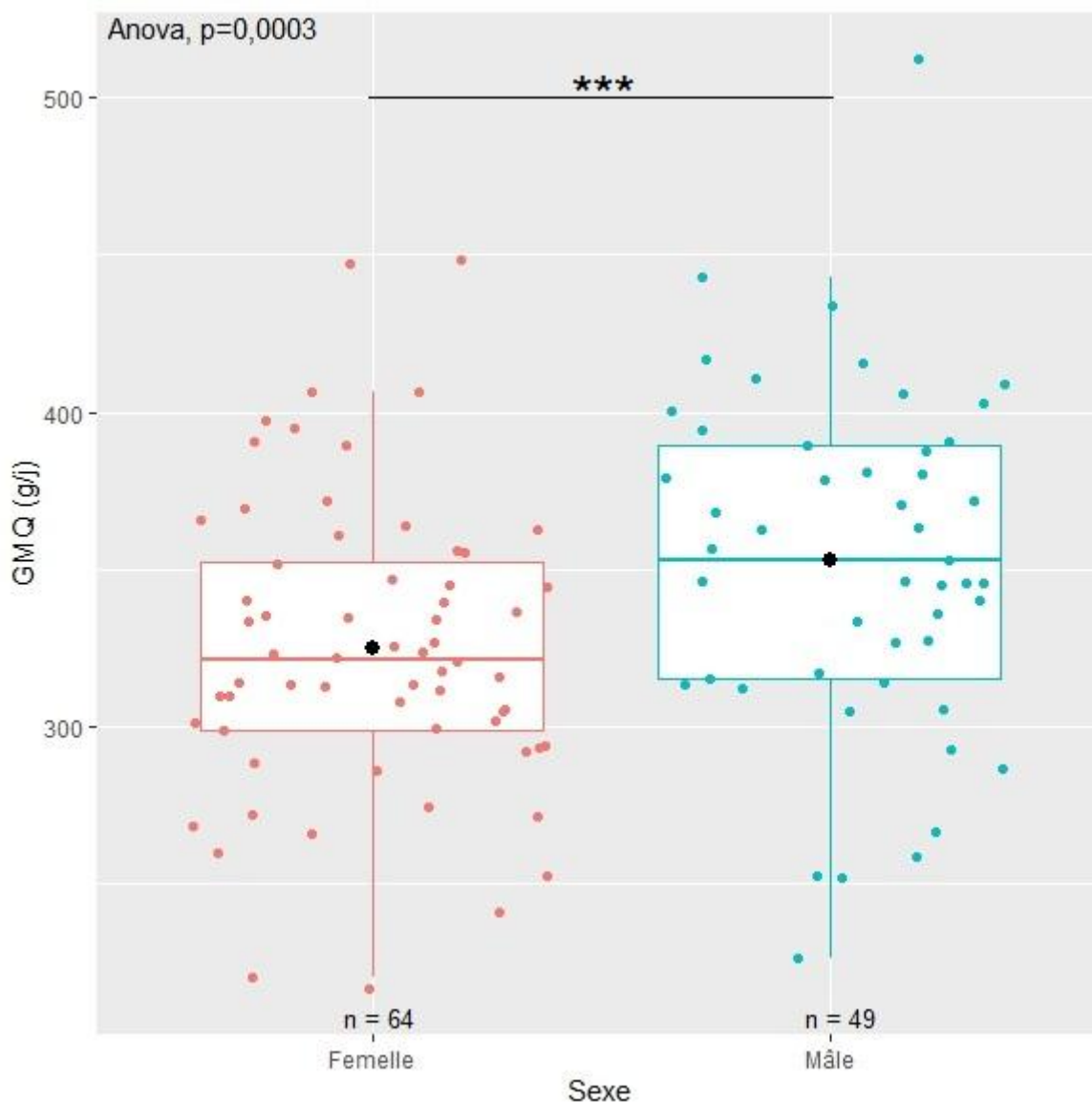
Figure 36 : Distribution et moyenne du poids à la naissance des agneaux en fonction de la variation de la NEC de leur mère en fin de gestation ($\Delta NEC = NEC_{MB} - NEC_{70j.avantMB}$) (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

ii) La croissance des agneaux sur la période d'allaitement

Le GMQ moyen des agneaux sur la période d'allaitement était de 337 ± 53 g/j (CV=16%), le plus petit GMQ étant de 217 g/j et le plus gros de 512 g/j, dépendant de multiples facteurs.

(1) Influence du sexe sur le GMQ des agneaux

Après analyse, il y avait une différence statistique fortement significative des GMQ sur la période d'allaitement entre les agneaux mâles et femelles de l'étude ($p=0,0003$), et ce, que les agneaux soient légers (< 4 kg) ou lourds (≥ 4 kg) à la naissance. En moyenne, le GMQ des femelles était de 325 ± 47 g/j sur la période d'allaitement contre 353 ± 55 g/j pour les mâles (*Figure 37*).



*Figure 37 : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du sexe (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)*

(2) Influence du mode d'allaitement sur le GMQ des agneaux

Il y avait une différence statistique fortement significative des GMQ sur la période allaitement-traité selon le mode d'allaitement des agneaux ($p < 0,0001$). En moyenne, le GMQ des agneaux allaités seuls sous leur mère était de 375 ± 45 g/j, supérieur à celui des agneaux allaités par deux, de 336 ± 56 g/j, lui-même supérieur à celui des agneaux élevés artificiellement, de seulement 284 ± 45 g/j (Figure 38). Pour rappel, le mode d'allaitement reflétait la taille de portée puisque sur le principe à quelques exceptions près les agneaux élevés artificiellement étaient issus de portées triples ou plus et les agneaux seuls sous leur mère de portées simples.

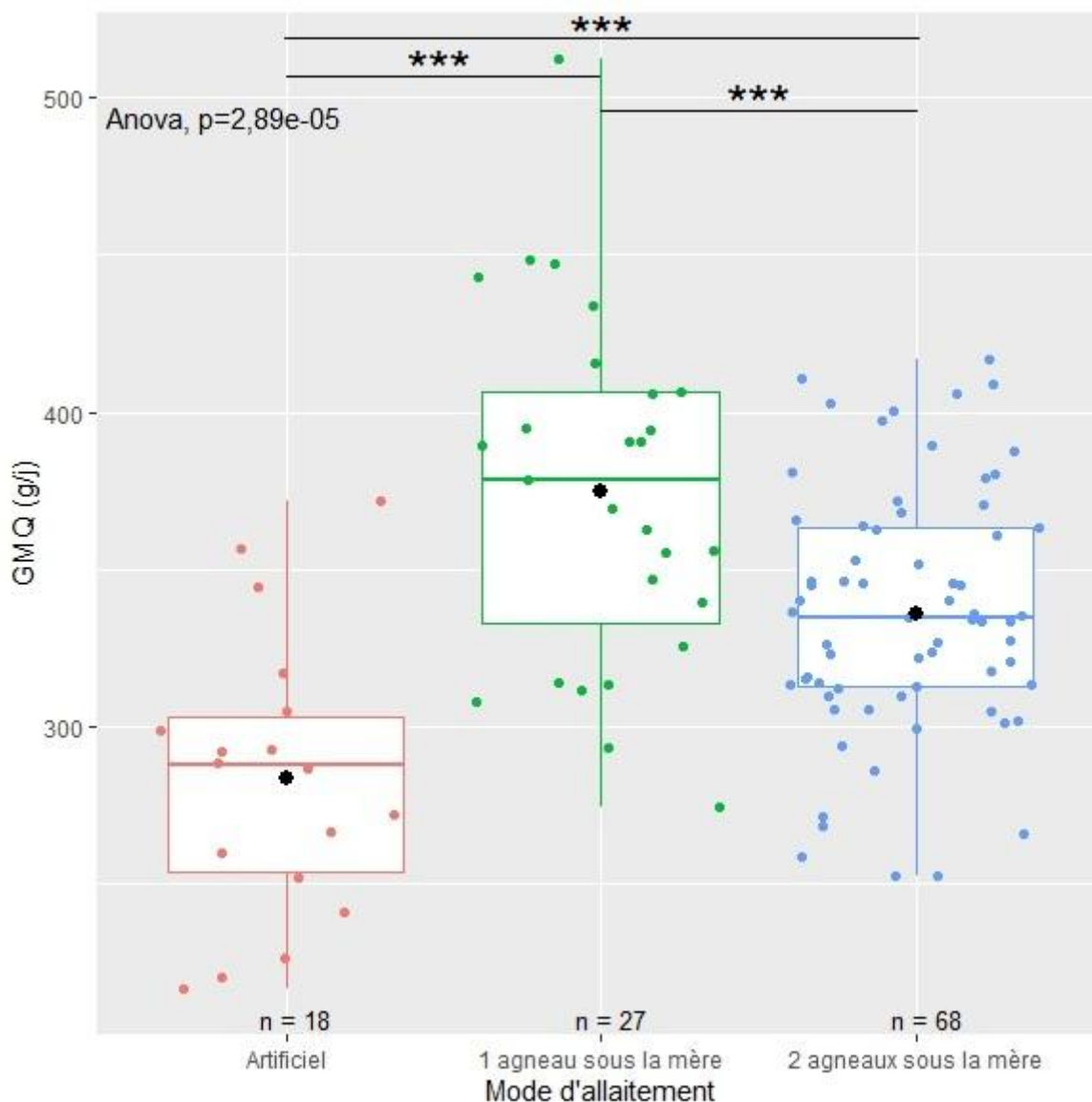


Figure 38 : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du mode d'allaitement (***: $p \leq 0,001$; **: $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

(3) Relation entre le poids à la naissance et le GMQ des agneaux

Il y avait une différence statistique fortement significative des GMQ entre les agneaux ayant un plus faible poids à la naissance (< 4 kg) et les agneaux avec un poids plus élevé (≥ 4 kg) ($p < 0,0001$). Il existait une forte corrélation positive entre le poids des agneaux à leur naissance et leur GMQ pendant la phase d'allaitement (Figure 39). Cependant, on peut voir sur la Figure 39 que les agneaux élevés artificiellement avaient tous un poids inférieur à 4 kg à la naissance. Pour rappel, les agneaux élevés artificiellement étaient issus de portées triples ou plus, écartés sur la base de leur plus faible poids dans la portée. En retirant les agneaux élevés artificiellement du modèle, pouvant représenter un biais, la corrélation entre poids à la naissance et GMQ existait toujours ($R^2 = 0,61$).

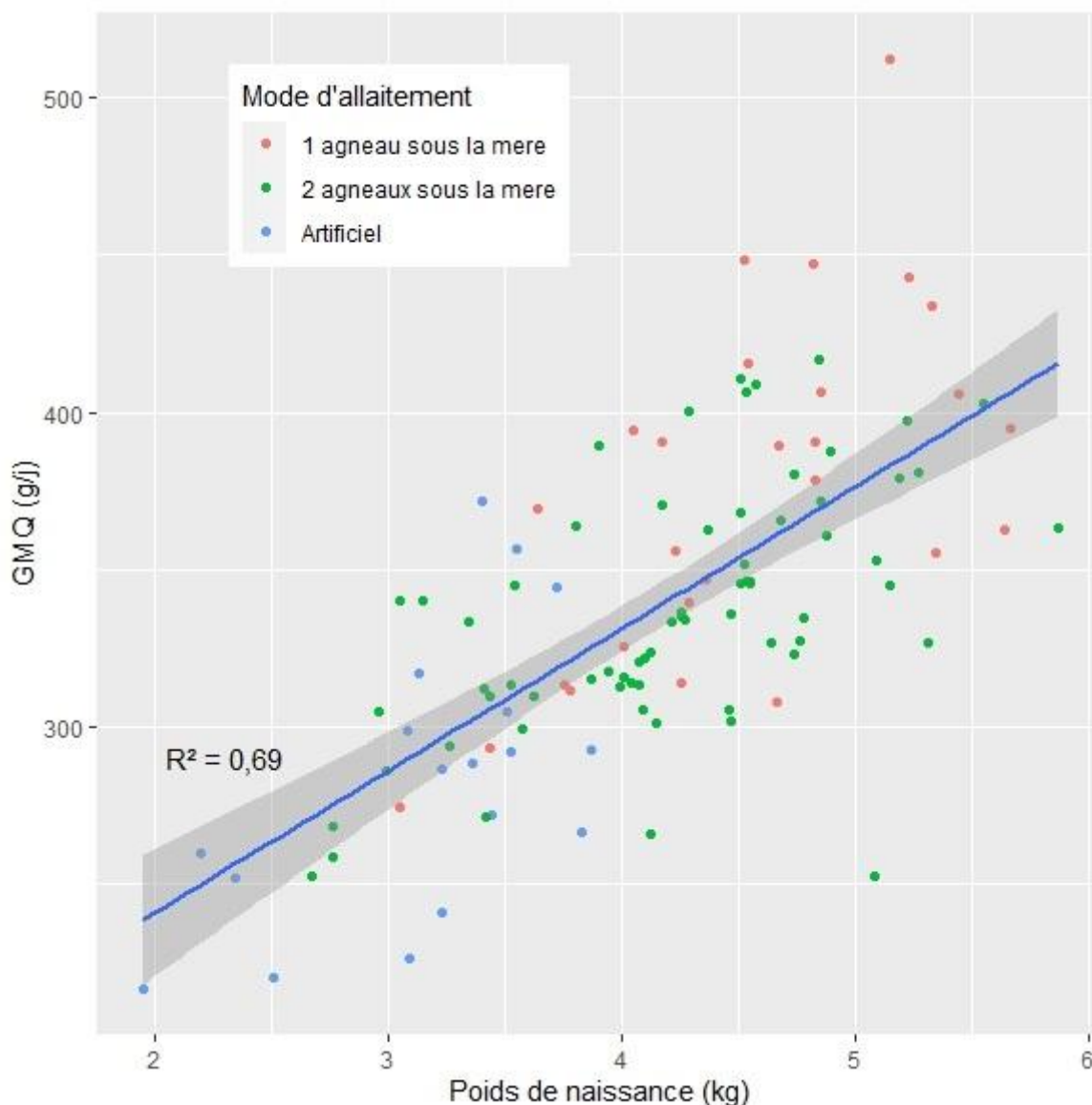


Figure 39 : GMQ des agneaux pendant la phase allaitement-traite en fonction de leur poids à la naissance

En s'intéressant uniquement aux agneaux avec un poids < 4 kg à la naissance (n=44), il n'y avait pas d'effet significatif du mode d'allaitement sur le poids à la naissance. C'est-à-dire que parmi les agneaux de moins de 4 kg à la naissance, ceux mis à l'allaitement artificiel n'étaient pas moins lourds que ceux restés sous leur mère. Ainsi, sur ce groupe d'agneaux plus légers, l'effet du mode d'allaitement sur le GMQ était confirmé puisqu'il y avait une différence significative entre les 18 agneaux élevés artificiellement et les 26 agneaux élevés sous la mère (p=0,03) (Figure 40).

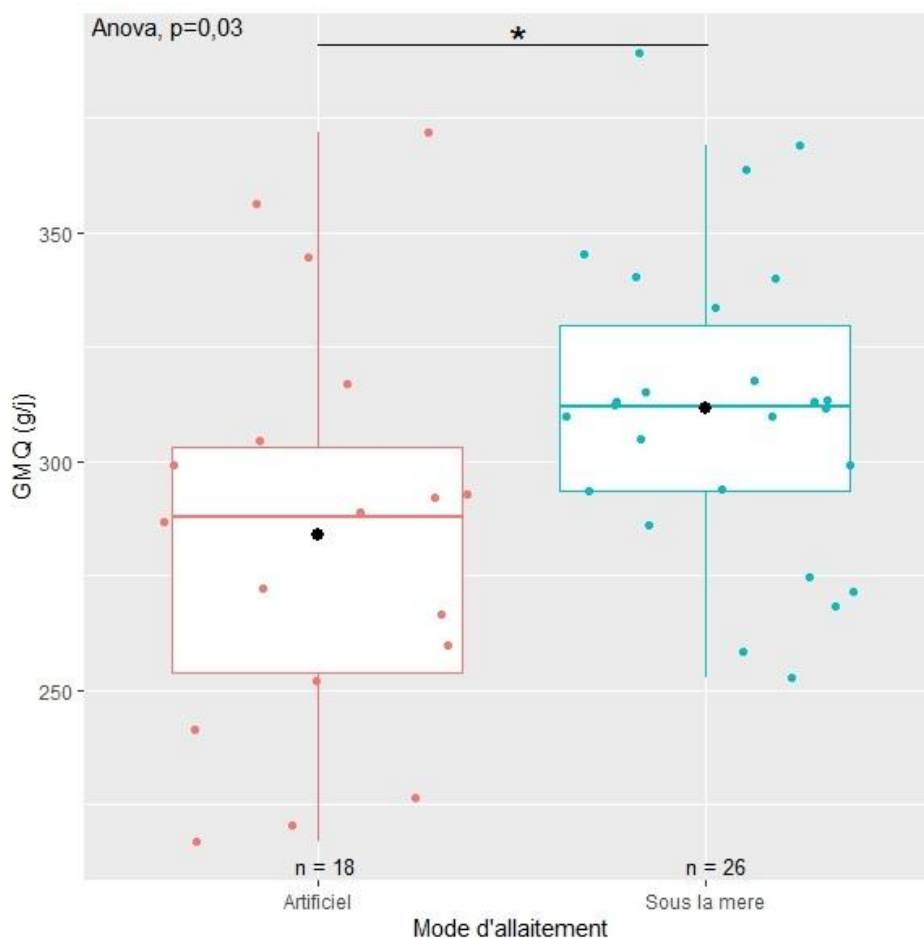


Figure 40 : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux, dont le poids à la naissance était inférieur à 4 kg, en fonction de leur mode d'allaitement (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$

(4) Relation entre la croissance des agneaux allaités sous leur mère et le métabolisme des brebis

Les agneaux élevés artificiellement seront par la suite écartés, leur mère n'étant plus leur source de nutriments, ils ne dépendaient plus de leur statut métabolique et de leur production laitière pendant l'allaitement.

Il n'y avait pas d'effet statistique significatif lorsque les GMQ ont été confrontés selon les différents groupes reflétant les facteurs en lien direct avec le statut métabolique des brebis. C'est-à-dire, qu'il n'y avait pas de différence de GMQ pendant l'allaitement que le dosage des AGNE ou des BHB circulant soit élevé ou bas pendant cette période ($p=NS$). De même, la variation de NEC des mères sur la période allaitement-traité ($\Delta NEC = NEC_{MB} - NEC_{Sevrage}$), que cela soit une forte ou une faible perte voire même une NEC stable ou un gain de NEC, ne semblait pas avoir d'impact sur le GMQ des agneaux ($p=NS$).

(5) Relation entre la croissance des agneaux allaités et la production laitière des mères

Il y avait un effet statistique significatif du niveau de production laitière sur le GMQ des agneaux en phase d'allaitement-traite ($p=0,02$). Les brebis ayant eu une production laitière au premier contrôle laitier plus faible (< 3 L/j) ont élevé des agneaux avec un GMQ pendant l'allaitement plus faible par rapport aux brebis avec une production moyenne ($[3 - 3,5[$ L/j) à élevée ($\geq 3,5$ L/j) ($p<0,05$) (Figure 41). L'hypothèse, ici, étant que les brebis avec une faible production laitière au premier contrôle laitier avaient également une faible production laitière pendant la phase d'allaitement, d'où un GMQ moindre.

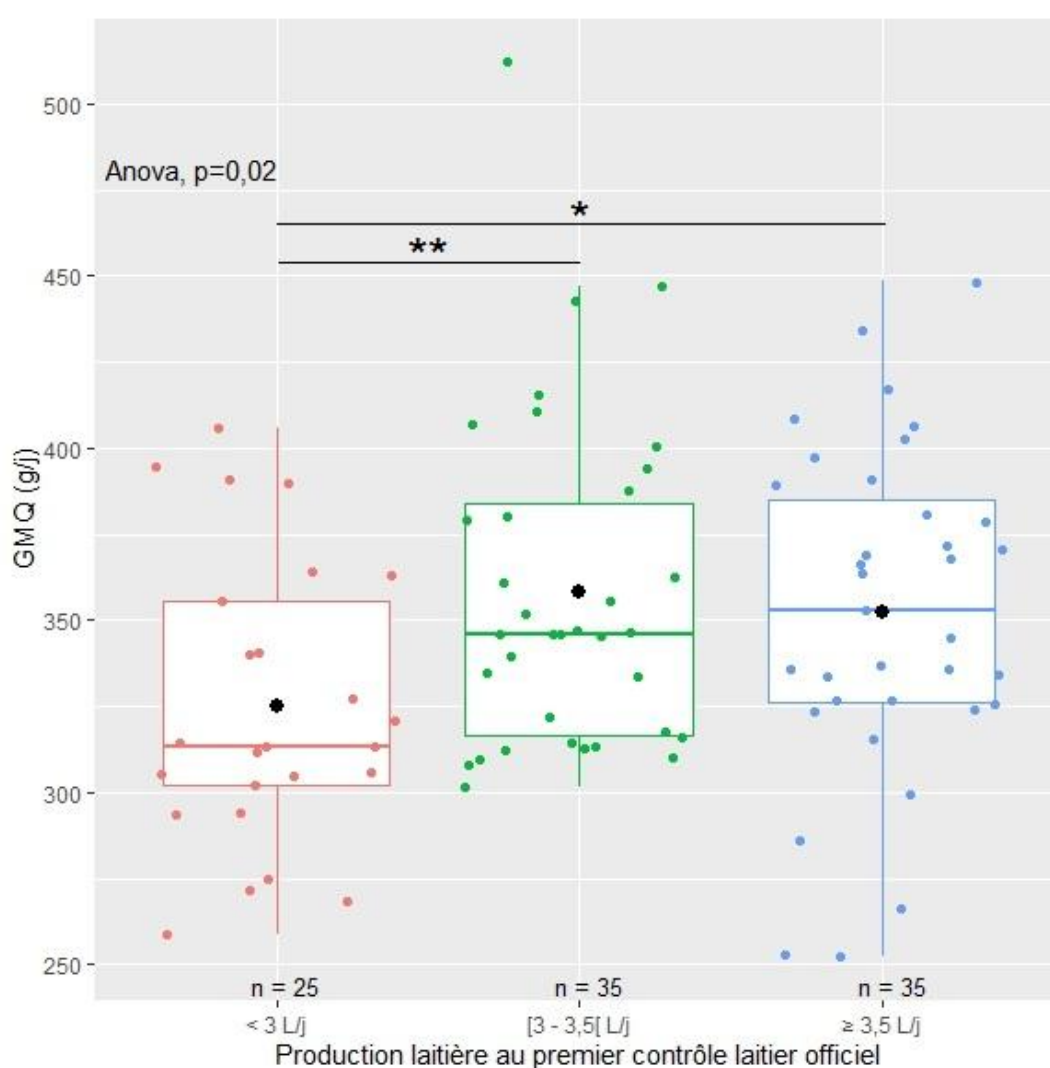


Figure 41 : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction de la production laitière des brebis au premier contrôle laitier officiel (***) : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Il y avait également un effet statistiquement très significatif du TP du lait des brebis sur le GMQ des agneaux pendant la phase d'allaitement ($p=0,001$). Les agneaux nourris avec un lait dont le TP moyen avant sevrage était plus élevé (≥ 46 g/L) avaient un GMQ plus élevé (Figure 42). *A contrario*, il n'y avait pas d'effet statistiquement significatif du TB moyen avant sevrage du lait des brebis ($p=NS$).

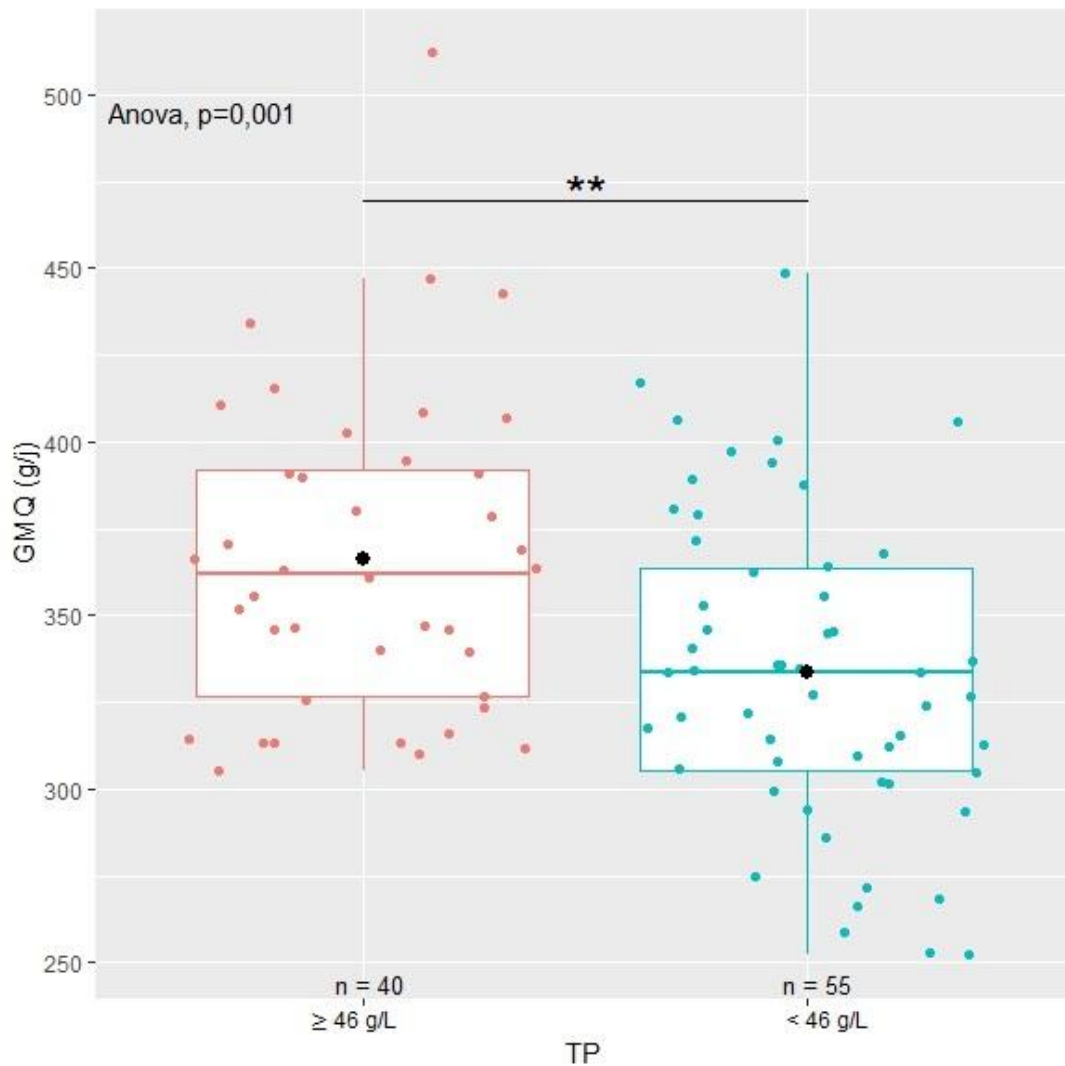


Figure 42 : Distribution et moyenne (point noir) du GMQ entre la naissance et le sevrage des agneaux en fonction du TP moyen du lait des brebis avant sevrage (*** : $p \leq 0,001$; ** : $0,001 < p \leq 0,1$; * : $0,1 < p \leq 0,5$)

Concernant l'influence de la composition en acides gras du lait d'allaitement sur la croissance avant sevrage, aucune relation significative n'a pu être mise en évidence. Toutefois, une tendance se dégageait comme quoi les agneaux nourris avec un lait proportionnellement plus riche en acides gras courts (C10:0>6%, C14:0>9%, C16:0>24%) et moins riche en acides gras longs (C18:0 \leq 10,5%, C18:1c9 \leq 24%) avaient un meilleur GMQ ($p=0,09$).

3) Discussion

a) La période allaitement-traite chez les brebis laitières

i) Statut métabolique des brebis laitières

Dans cette étude, comme attendu, une constitution des réserves énergétiques pendant le début de la gestation a été mise en évidence puisque la NEC moyenne a augmenté significativement sur cette période. Ainsi, à la mise-bas, la majorité des brebis avait une NEC convenable (66% des brebis avaient une NEC entre 3 et 3,5 à la mise-bas et 32% inférieure ou égale à 2,9). Il y a par la suite effectivement eu une mobilisation des réserves énergétiques sur la période allaitement-traite. Pour rappel, en moyenne, $-0,12 \pm 0,23$ point de NEC perdu entre la mise-bas et le sevrage (et $-0,25 \pm 0,25$ point de NEC perdu entre la mise-bas et le premier contrôle laitier officiel) sans qu'aucune NEC ne passe en dessous de 2,5 au sevrage.

Si le déficit énergétique a lieu d'être, c'est en partie à cause des besoins énergétiques croissants. Ce besoin énergétique supplémentaire nécessaire pour la production laitière dépend du GMQ de la portée jusqu'au sevrage. Tant que le lait est la seule source de nutriments des agneaux, leur GMQ peut à lui seul refléter la production laitière des mères. Il peut se calculer selon la formule suivante :

$$\text{Besoin UFL}_{\text{PL}} = - 0.0274 * \text{GMQ}_{\text{portée}} * \text{JL} - 0.0007 * \text{JL} + 3.66 * \text{GMQ}_{\text{portée}} + 0.0602,$$

où le besoin est exprimé en UFL/j et le "GMQ_{portée}" en kg/j et où "JL" correspond au stade de lactation exprimé en nombre de jours post-agnelage (*Hassoun et al., 2018*). Plus le GMQ sera important, plus il faudra de lait et plus le besoin énergétique de la mère sera élevé. Ainsi, une brebis allaitant 2 agneaux aura des besoins énergétiques plus importants qu'une brebis n'allaitant qu'un seul agneau, le GMQ cumulé des 2 agneaux étant supérieur à celui de l'agneau seul même si individuellement et en règle générale, le GMQ d'un agneau singleton sera supérieur à celui d'un agneau issu d'une portée multiple.

Ici, les brebis allaitant 2 agneaux avaient une production laitière pendant la traite exclusive plus élevée pouvant résulter d'une stimulation plus importante durant l'allaitement. Ces brebis avaient très certainement une production laitière plus volumineuse pendant l'allaitement-traite, à plus forte raison que plus il y a d'agneaux qui têtent la mamelle, plus celle-ci est stimulée, plus elle produira de lait. En effet, la tétée stimule les récepteurs sensoriels situés sur la mamelle, entraînant entre autres par voie nerveuse la libération de

prolactine, hormone notamment connue pour son rôle dans la lactogénèse (Gayraud, 2023). Cependant, une production laitière faible au premier contrôle laitier officiel, ne veut pas forcément dire que la production à l'allaitement l'était également. Certaines brebis sont sensibles au retrait des agneaux et leur production peut chuter de 25% à 30%, la traite n'égalant pas le stimuli d'un agneau qui tète. Les brebis avec un comportement maternel plus développé sont d'autant plus affectées par la séparation (Labussière et al., 1969 ; Lagriffoul et al., 2016). De plus, ces brebis au besoin énergétique plus élevé tendaient à avoir une perte de NEC sur la période allaitement-traite plus importante pour semble-t-il combler un plus important déficit énergétique. Une perte de NEC plus importante était possible pour les brebis avec une NEC à la mise-bas supérieure ou égale à 3.

Outre la perte de NEC, l'augmentation de la concentration des AGNE circulants indique une fonte des réserves graisseuses, les AGNE étant alors considérés comme un marqueur de lipomobilisation. Dans cette étude, les concentrations plasmatiques en AGNE ont été maximales 2 à 3 semaines après la mise-bas, au moment du second contrôle d'allaitement-traite, avant de fortement diminuer et de s'homogénéiser dans le troupeau après sevrage (respectivement au CLal 2 et au CLO 1, AGNE moyen de $0,91 \pm 0,28$ mmol/L et de $0,19 \pm 0,12$ mmol/L). Pendant l'allaitement-traite, les brebis, qui ont eu une concentration en AGNE circulants parmi les plus élevées du troupeau ($\geq 0,90$ mmol/L), étaient significativement associées à des besoins énergétiques théoriques (i.e lié au nombre d'agneaux allaités) plus importants et avaient seulement tendance à être associées à une perte de NEC de plus de 0,25 point.

Concernant le dosage sanguin des BHB, les concentrations étaient maximales au second contrôle laitier d'allaitement-traite tout comme pour les AGNE, sans toutefois corrélérer avec eux. La concentration a également par la suite fortement diminué et s'est mieux homogénéisé après sevrage (respectivement au CLal 2 et au CLO 1, BHB moyen de $1,55 \pm 0,69$ mmol/L et de $0,84 \pm 0,21$ mmol/L). Les taux étaient plutôt élevés puisque 45% des brebis ont dépassé le seuil de 1,50 mmol/L pendant la phase d'allaitement-traite sans toutefois avoir d'incidence sur le reste des paramètres puisqu'aucune relation n'a pu être objectivée. Au contraire, après sevrage, les concentrations sont retombées vers des valeurs plus attendues en normale, à savoir inférieure à 0,80 mmol/L (Schelcher, 2023). Par ailleurs, pendant la phase d'allaitement-traite, les brebis plus âgées avaient un dosage moyen des BHB de 0,30 à 0,45 mmol/L supérieur aux brebis plus jeunes. Ce qui est cohérent avec le fait que les brebis plus âgées, dans le cadre de la toxémie de gestation et notamment à partir du 3ème rang de lactation sont plus à risque d'hypercétonémie (Marx, 2002 ; Kalyesubula et al., 2019), tout comme l'âge est un facteur de risque d'hypercétonémie chez

la vache laitière (*Compton et al., 2015 ; Ha et al., 2022*). Toutefois, dans l'étude, il y avait significativement plus de brebis jeunes (≤ 3 ans), ce qui peut représenter un biais.

L'allaitement-traite est donc une période de plus ou moins forte lipomobilisation dépendant de l'équilibre entre les besoins et les réserves énergétiques propres à chaque individu. Éleveurs et vétérinaires peuvent alors observer de fortes variations des différents marqueurs du statut métabolique intra- et inter-individuelles. Dans cette étude, la lipomobilisation semblait maximale et intense au cours de la première moitié de la phase d'allaitement-traite, période où AGNE et BHB ont eu le dosage le plus élevé. De plus, le déficit énergétique et la mobilisation des réserves ont pu être objectivés pendant la période allaitement-traite, notamment au travers de l'élévation des facteurs de lipomobilisation, AGNE et BHB, au cours des 2 à 3 premières semaines. Pendant ces quelques semaines, les brebis ayant une concentration en AGNE circulants élevée étaient associées à une perte de NEC parmi les plus importantes et ces mêmes brebis avaient en parallèle aux premiers et seconds contrôles d'allaitement-traite, une NEC plus basse. Pour traduire et résumer la situation, les brebis qui avaient un besoin énergétique théorique plus élevé (portée multiple, allaitant 2 agneaux, production laitière élevée) étaient exposées à un risque de déficit énergétique plus important ce qui s'est traduit par une élévation des AGNE circulants associées à une baisse de la NEC, faits caractéristiques d'une mobilisation des réserves graisseuses. Ce phénomène a été des plus significatifs en début de période allaitement-traite.

Ainsi, l'allaitement-traite est dit critique à cause d'une balance énergétique négative. En plus de répondre à ses besoins d'entretien, la brebis doit pourvoir au besoin énergétique nécessaire à sa production laitière, qui en l'occurrence au cours du premier mois de lactation sert à nourrir sa portée d'agneaux. Un déficit énergétique s'instaure du fait d'un besoin énergétique croissant et d'une capacité d'ingestion limitée (*CNBL, 2019*). Cette dernière se restaure progressivement après agnelage, permettant de rétablir une balance énergétique plus convenable en toute fin d'allaitement-traite, avant même d'entamer la traite exclusive, d'où probablement ici une lipomobilisation et désordre métabolique qui semble s'amoinrir à partir du troisième contrôle d'allaitement-traite.

En fin de gestation, au cours des 6 dernières semaines, il est primordial d'adapter l'alimentation en quantité et qualité au regard des besoins énergétiques croissants en lien avec l'importante part qu'occupe la croissance foetale à ce moment-là (pour rappel, 70% de la croissance foetale a lieu en fin de gestation ce qui augmente le besoin énergétique de 30% à 40% (*Adjou, 2012*)). De plus, c'est le moment pour la brebis d'acquérir plus et/ou de

ne pas perdre ses réserves graisseuses, car seules celles ayant des réserves convenables ($NEC \geq 3$) ont pu les mobiliser. Tout l'intérêt est donc de maîtriser un bon état corporel au moment de la mise-bas pour assurer d'une part un bon agnelage et d'autre part un bon démarrage de la lactation puisque les premières semaines seront les plus difficiles pour la brebis.

ii) Production laitière des brebis

La composition du lait chez les brebis est mieux caractérisée pendant la traite exclusive, en majorité grâce aux données récoltées à travers les différents contrôles laitiers officiels. Les résultats obtenus dans cette étude ont permis d'obtenir une idée de la composition du lait et de son évolution au cours du mois d'allaitement-traite. Les taux butyreux et protéiques ont démarré assez bas par rapport aux taux attendus en traite exclusive et ont tout d'abord diminué. Le TP était au plus bas au second contrôle laitier d'allaitement-traite avant de par la suite remonter et d'atteindre au premier contrôle laitier officiel une valeur moyenne proche des valeurs attendus à un mois de lactation, soit aux alentours de 50 g/L (*Hassoun et al., 2018*). Quant au TB, il n'a cessé de diminuer jusqu'au premier contrôle laitier officiel. Par contre, le rapport TB/TP était en moyenne haut pendant la période d'allaitement-traite, $1,47 \pm 0,31$, alors que les valeurs attendues en lactation sont plutôt situées entre 1,2 et 1,4 (*Bedouet, 2006*). Enfin concernant les profils en acides gras, les 5 acides gras majeurs relevés dans le lait d'allaitement-traite étaient les mêmes que ceux identifiés en traite exclusive, à savoir C10:0, C14:0, C16:0, C18:0 et C18:1c9. Toutefois, hormis pour C16:0, les pourcentages de ces autres acides gras, tout comme les taux du lait, étaient différents de ceux déjà estimés en traite exclusive, la part d'acides gras à longue chaîne étant plus élevée et celle en acides gras à courtes chaînes plus faibles. Cependant, l'interprétation des résultats est rendue délicate puisque les mesures effectuées sur le lait récolté en allaitement-traite ne prennent en compte ni le lait bu par les agneaux, ni le délai entre prélèvement/traites et tétée.

Le déficit énergétique d'allaitement-traite s'est également répercuté sur la production laitière des brebis. En effet, les brebis avec un besoin énergétique théorique plus élevé avaient un TP moyen plutôt bas et un TB moyen et un rapport TB/TP relativement élevés, avant sevrage. Dans cette étude, le TB était positivement corrélé aux pourcentages d'acides gras C18:0 et C18:1c9 uniquement au début de la période allaitement-traite. Toutefois, il y avait une différence notable entre le lait d'allaitement-traite et le lait issu de la traite exclusive. Les pourcentages d'acides gras C18:0 et C18:1c9 ont diminué jusqu'au premier contrôle laitier officiel et au contraire, les pourcentages d'acides gras C10:0 et C14:0 ont

augmenté. Au regard des concentrations et non plus des pourcentages d'acides gras, il s'est avéré que si les concentrations en C18:0 et C18:1c9 ont effectivement considérablement chuté, celles en C10:0, C14:0 et C16:0 étaient relativement stables. Cela corroborant le fait, que lorsque la brebis laitière répond à un bilan énergétique négatif par une mobilisation des réserves graisseuses, il y a alors libération d'acides gras longs (C18), acides gras majoritaires du tissu adipeux, ce qui va contribuer à l'élévation du TB du lait (Bocquier et Caja, 2001).

Par ailleurs, si le rapport TB/TP semblait stable avant sevrage, individuellement, ce n'était pas le cas des valeurs de TB et des valeurs de TP. Cela rend l'interprétation délicate. Au premier contrôle laitier officiel, le rapport TB/TP a diminué. D'une part, cela traduit le fait que le TB a baissé, l'hypothèse étant une mobilisation graisseuse moins importante après sevrage, le pic de lactation étant probablement déjà passé. D'autre part, cela traduit une hausse du TP, la capacité d'ingestion qui se rétablit progressivement ne limitant plus la synthèse protéique.

Si le déficit énergétique au cours du mois d'allaitement-traite est prévisible et surtout attendu, il a tout de même pu être notifié que celui-ci semblait plus important les premières semaines et notamment entre 2 et 3 semaines post-agnelage lorsque le dosage en AGNE circulants était au plus haut et le TP au plus bas. C'est également à ce moment précis que les profils en acides gras du lait ont changé puisque le pourcentage d'acides gras à longue chaîne à diminuer au profit de celui en acides gras à courte et moyenne chaîne. Tout cela peut s'expliquer par l'intervention du pic de lactation qui, chez la brebis laitière, aurait lieu entre 2 et 3 semaines après la mise-bas (Ruiz et al., 2000 ; De Olives et al., 2013 ; Wang et al., 2020). Passé ce pic qui implique un besoin énergétique des plus importants avec en parallèle une capacité d'ingestion qui se restaure, le déficit énergétique sera moindre d'où des valeurs en AGNE, BHB et des taux et des profils en acides gras du lait qui tendent alors vers des valeurs usuelles en lactation.

b) La croissance des agneaux pendant la phase d'allaitement-traite

Le poids à la naissance conditionne le devenir des agneaux. Tout d'abord, il est reconnu comme le facteur de risque de mortalité lié à l'agneau le plus fondamental (Gautier et Corbière, 2011). Un agneau lourd augmentera le risque de dystocie et donc de mortinatalité alors qu'un agneau trop léger sera plus fragile (déficit en réserve lipidique, risque accrue d'hypothermie, moins de vigueur). Dans cette étude, la mortalité était

majoritairement liée à des poids trop légers à la naissance. Malgré cela, le taux de mortalité observé est resté relativement plus faible que celui moyen avant sevrage (ici 11% v/s 15% à 20% en moyenne (*Gautier et Corbière, 2011*)). De plus, si en théorie, plus des trois-quarts de la mortalité périnatale à lieu au cours de la première semaine de vie (*Gautier et Corbière, 2011*), ici, elle était répartie de façon plus homogène au cours du premier mois de vie.

Ensuite, le poids à la naissance impacte la croissance de l'agneau puisqu'en effet, il y avait une forte corrélation positive entre le poids à la naissance et le GMQ des agneaux. Ainsi, des agneaux plus lourds à la naissance avaient un GMQ plus important. D'où l'intérêt de garder et de destiner pour la reproduction les femelles les plus lourdes à la naissance qui seront donc en théorie en meilleur état au moment de leur mise à la reproduction et plus vigoureuse.

Le poids à la naissance dépend de multiples facteurs. Comme par exemple, d'une manière générale le sexe et dans cette étude, comme parmi tant d'autres, les femelles pesaient moins lourds que les mâles à la naissance (respectivement, $3,98 \pm 0,77$ kg et $4,32 \pm 0,82$ kg). Il dépend également de la taille de portée, point déjà évoqué en première partie de ce travail. Si les agneaux issus de portées triples ou plus étaient significativement plus légers, il n'y avait cependant pas de différences significatives concernant le poids à la naissance des agneaux simples et doubles.

Comme cela a déjà été rapporté (*Gardner et al., 2007 ; Abebe et al., 2022*), les agneaux issus des mères les plus jeunes avaient un meilleur GMQ, l'âge clivant étant 3 ans dans cette étude. Toutefois, ils n'y avaient pas de primipares ici, or, il a déjà été démontré que ces dernières avaient des agneaux plutôt moins lourds à la naissance par rapport à des multipares (*Gautier et Corbière, 2011 ; Abebe et al., 2022*). Avec l'âge, la taille de portée peut tendre à augmenter (*Gardner et al., 2007*), ce qui peut expliquer une diminution du poids à la naissance. Cependant, ce n'était pas le cas dans cette étude, l'âge n'avait pas d'effet sur la taille de portée.

Par contre, si l'état des réserves corporelles de la brebis a également été décrit comme facteur de variation du poids à la naissance des agneaux (*Gardner et al., 2007 ; Cluzel, 2022*), cela ne fut pas le cas ici puisqu'aucune relation significative n'a pu être mise en évidence. Cela peut éventuellement venir du fait que la plupart des brebis avaient finalement une bonne NEC et une bonne évolution de cette dernière au fil du temps. Ainsi, il y a eu une faible représentativité de brebis avec des réserves insuffisantes ou trop importantes, limitant les conclusions.

Pour aborder la croissance de l'agneau pendant son mois d'allaitement, a été étudié ici le GMQ, calculé entre la naissance et le sevrage. Comme abordé auparavant, ce GMQ

dépendait du poids à la naissance de l'agneau et donc indirectement du sexe et de la taille de portée, facteurs de variation apparents du poids en question. Néanmoins, le GMQ dépendait aussi directement du sexe de l'agneau, une femelle ayant un GMQ pendant l'allaitement inférieur à celui d'un mâle (respectivement, 325 ± 47 g/j contre 353 ± 55 g/j). Les mâles ont en effet une vitesse de croissance plus élevée et donc prendront plus de masse le premier mois de vie par rapport à une femelle, cette dernière ayant tendance à déposer de la graisse, ce qui sera plutôt une bonne chose si elle a un avenir dans la reproduction (*Gardner et al.* - 2007 ; *Hassoun et al.* - 2018 ; *Gurgel et al.* - 2021). De cette manière, si le mâle développe proportionnellement plus de muscle et moins de graisse qu'une femelle, la graisse étant moins lourde que le muscle alors le poids et le GMQ d'un mâle sera plus conséquent que ceux d'une femelle.

Par ailleurs, le GMQ était relié au mode d'allaitement. D'une part, les agneaux allaités artificiellement avaient un GMQ inférieur à ceux allaités sous leur mère. L'hypothèse étant que le lait de remplacement peut être moins riche que le lait maternel des brebis et de ce fait, la croissance peut être impactée. En termes d'alimentation, le facteur primordial modulant la croissance de l'agneau, c'est la quantité d'énergie ingérée via le lait consommé. L'intense production ovine a nécessité par le passé d'augmenter la fréquence des mise-bas et la taille des portées afin d'accroître la production laitière. Cependant, plus d'agneaux par portée signifiait un risque que la production laitière ne soit plus suffisante pour assurer leurs besoins. L'allaitement artificiel a donc été mis en place pour pallier ce problème. Mais le principal problème de l'alimentation artificielle est que le lait de substitution reste souvent moins riche que le lait de brebis entraînant ainsi des retards de croissance. Pour obtenir une alimentation artificielle efficace, il faut s'assurer d'une consommation suffisante en quantité du lait de substitution et surtout que ce dernier soit suffisamment riche en énergie et donc sa composition se rapproche qualitativement du lait de brebis (*Pinot et al.*, 1965). À propos de la quantité de lait ingéré, il est vrai qu'ici, les agneaux nourris par les meilleures productrices (production laitière observée au premier contrôle laitier officiel) avaient un meilleur GMQ. D'autre part, parmi les agneaux sous leur mère, ceux seuls à la tétée avaient un GMQ supérieur à ceux allaités par deux.

Concernant la croissance des agneaux en lien avec les facteurs maternels ici abordés, aucune relation n'a pu être mise en évidence avec le statut métabolique de la mère que ce soit au travers de la NEC ou du dosage des métabolites sanguins AGNE et BHB. Toutefois, le statut métabolique de la brebis avait un impact sur sa composition laitière et donc sa qualité et notamment un impact sur le TP et les profils en acides gras. Or, les agneaux nourris avec un lait dont le TP était dans les valeurs hautes, proportionnellement plus riches en acides gras courts et moins en acides gras longs, prétendaient à un meilleur GMQ. Effectivement, un TP plus bas peut impliquer une baisse de la coagulation du lait

dans la caillette à cause d'une quantité de caséine plus faible. Une diminution de la coagulation entraîne une digestion plus rapide et donc moins efficace (*Coulon et al., 1998 ; Gautier et al., 2011*). Ainsi, l'augmentation du TP augmenterait la digestibilité du lait et par conséquent, la croissance de l'agneau comme observé dans cette étude. Cependant, il est plus souvent démontré un lien entre quantité totale de matière sèche ingérée et gain de poids vif qu'entre quantité totale de matières azotées ingérées et gain de poids vif au cours de la phase lactée (*Theriez et al., 1977*). Quant aux acides gras, les lipases, enzymes digestives, favorisent la digestion des acides gras courts (*Gautier et Labussière, 2011*). De ce fait, un lait plus riche en acides gras longs (C18:0 et C18:1c9) serait moins digeste d'où un GMQ qui serait moins important.

c) Limites et perspectives

Le choix des brebis pour l'expérimentation a été fait de sorte à obtenir une diversité de statut métabolique en sélectionnant des brebis avec des tailles de portée et des index laitiers différents. Les valeurs d'AGNE et de BHB étaient certes diversifiées, mais les NEC ou encore les valeurs de TB et de TP étaient associées à de faibles amplitudes de variation. Il y avait donc une faible représentation des brebis avec des valeurs extrêmes ce qui a pu limiter l'exploration et la portée des conclusions. Par ailleurs, si on recoupe les brebis selon leur profil métabolique et leur production laitière, très peu de brebis se regroupent. Les faibles effectifs rendent ainsi l'étude statistique difficile. Une clusterisation des trajectoires aurait pu être intéressante plus qu'une fixation arbitraire des seuils pour catégoriser les brebis selon leur statut métabolique et leur production laitière. Il faut également tenir compte de l'âge des brebis. La grande majorité de l'échantillon était âgée de moins de 3 ans, or, l'âge a eu un effet notamment sur le dosage des BHB, mais également sur la production laitière et les taux du lait, les brebis plus jeunes ayant de meilleurs résultats.

Concernant les agneaux, la faible dispersion des valeurs de poids vif à la naissance et de GMQ sur la période d'allaitement a entraîné également une sous-représentation des agneaux aux valeurs extrêmes limitant la portée de l'étude. Les faibles effectifs ont rendu l'analyse statistique plus limitée.

D'autre part, concernant le dosage des BHB, l'utilisation du lecteur portatif Freestyle® Optium NEO (Abbott) semble être une méthode alternative fiable de dosage des BHB sanguins au chevet de l'animal, par rapport à la méthode de référence en colorimétrie enzymatique, comme cela a pu être démontré pour d'autres références de lecteur portatif (*Panousis et al., 2018 ; Araujo et al., 2020*). Toutefois, les valeurs des BHB ont été ici obtenues sur sang total, or, d'après *Corbière et al., 2022*, il semblerait que la matrice utilisée

ait un effet sur le dosage. Si les dosages réalisés sur sang total, plasma hépariné, plasma EDTA et sérum s'avèrent corrélés, les valeurs acquises sur sang total apparaissent plus faibles. Pour le dosage des AGNE, la méthode d'analyse employée à l'ENVT sous-estime d'environ 30% les valeurs de concentration en AGNE circulants. Cette erreur serait due à la présence d'héparine dans l'échantillon. Le fournisseur du kit de dosage (INTRUCHEMIE) recommande plutôt l'utilisation de l'EDTA à l'héparine comme conservateur.

Ensuite, l'estimation de la NEC a été réalisée avec un dixième de précision dans l'attribution des notes, une évaluation somme toute plus précise par rapport à ce qu'il se fait en routine en élevage. Néanmoins, si cela a permis d'obtenir des valeurs plus précises et de tenter une approche plus fine de la mobilisation des réserves corporelles, il n'en reste pas moins que l'évaluation de la NEC reste dépendante de la formation de l'évaluateur et, il est légitime de se demander sur quelle base se faisait une distinction si précise entre par exemple une brebis à 3,0 de NEC et une brebis à 2,9. N'ayant pas eu accès aux critères de décision, il est difficile d'en juger.

Pour terminer, vis à vis des agneaux, il n'y avait finalement et seulement que 2 pesées effectuées pendant l'allaitement, ce qui fait assez peu de données et ce qui peut diluer les informations, mais qui permet une première approche globale de la croissance au cours du premier mois de vie. Ainsi, réaliser une pesée par semaine au moment où les prélèvements sont effectués sur les brebis permettrait une approche plus fine de la croissance des agneaux. De plus, la composition du lait sur une traite par jour peut être impactée par le délai avec la dernière tétée du ou des agneaux, or, ici, ce délai reste une inconnue. De ce fait, effectuer une pesée avant et après tétée permettrait d'une part d'estimer la quantité de lait ingéré par l'agneau et la production laitière totale de la mère en y ajoutant le produit de la traite et d'autre part, de connaître le délai entre traite et tétée (*Benchohra et al., 2014*). Cependant cela reste une logistique très contraignante à mettre en place et à maîtriser, et doit s'adapter à la fréquence des tétées.

Conclusion

L'allaitement-traite chez la brebis laitière est effectivement une période où de nombreux changements physiques et métaboliques s'opèrent sur une assez courte durée. Il s'agit d'une étape clé qui conditionne en grande partie les futures performances laitières des brebis et les futures performances de croissance des agneaux.

Notre étude, basée sur 65 brebis laitières de race Lacaune et leurs 128 agneaux, visait à décrire la variabilité de la croissance de ces derniers avant sevrage en explorant leur GMQ et ses déterminants, à travers l'étude du statut métabolique et de la production laitière des mères en phase d'allaitement-traite.

Les brebis, qui débutaient leur lactation, ont vu leur statut métabolique varié intensément. La mobilisation des réserves énergétiques s'est traduite par une perte de NEC sur la période allaitement-traite n'excédant pas 1 point ainsi qu'une forte augmentation de la concentration en AGNE circulants avant 3 semaines post-agnelage. Si une augmentation de la concentration en BHB circulants a pu être observée, elle n'a toutefois pas pu être corrélée aux autres indicateurs du métabolisme et de la production laitière. Quant à la production laitière, la composition était fondamentalement différente de celle attendue en traite exclusive en lien avec les processus métaboliques mis en jeu, se traduisant par des taux butyreux et protéiques fluctuants et plus bas ainsi qu'une proportion d'acides gras courts plus basses et d'une proportion d'acides gras long plus importante, pour finalement, en fin d'allaitement-traite, tendre vers des valeurs plus usuelles.

Les agneaux issus de la filière laitière ont une croissance rapide pendant leur mois d'allaitement. Divers facteurs peuvent influencer la croissance et le bon développement des agneaux. Parmi les facteurs de variation explorés dans cette étude, ceux ayant eu un impact des plus considérables sur le GMQ furent le sexe de l'agneau, la taille de portée, le poids à la naissance ainsi que l'alimentation et donc son mode d'allaitement. L'alimentation avant sevrage se résume quasi exclusivement à une alimentation lactée et si elle n'est pas artificielle, elle provient de la mère et dépend donc de sa capacité à produire un lait en quantité et qualité suffisante, étayant l'importance d'assurer un démarrage optimal de la lactation à travers l'optimisation de la sélection et de la conduite des brebis laitières.

Bibliographie

ABEBE, A. S., ALEMAYEHU, K., GIZAW, S. et JOHANSSON, A. M., 2022. Genetic and phenotypic parameters for growth and lamb survival traits of Farta and their crosses with Washera sheep in northwest Ethiopia : Inputs to design of breeding programs. *Cogent Food & Agriculture*. 31 décembre 2022. Vol. 8, n° 1, pp. 2082043. DOI 10.1080/23311932.2022.2082043.

ADJOU, K., 2012. La toxémie de gestation chez la brebis. *La Semaine Vétérinaire*. 2012. N°. 1506. [en ligne]. [Consulté le 18 octobre 2023]. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/la-semaine-veterinaire/article/n-1506/la-toxemie-de-gestation-chez-la-brebis.html#f101>

AMALRIC, S., 2011. Variabilité de la concentration en immunoglobulines G du colostrum de brebis et conséquences sur la survie précoce de l'agneau. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2011, 97 p.

AMREIN, R., BERGER, T., MAURER, J., SCHAEAREN, W., 2013. Critères de qualité pour le lait de chèvre et de brebis : exigences et valeurs indicatives ainsi que propositions pour un paiement du lait selon des caractéristiques qualitatives. Station de recherche Agroscope Liebefeld-Poisieux, novembre 2013. ISSN 1661-0814 (online) /27.11.2013

AOP Roquefort, 2023. Produits laitiers AOP [en ligne]. [Consulté le 29 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.produits-laitiers-aop.fr/produits/roquefort/>

ARAÚJO, C., MINERVINO, A., SOUSA, R., OLIVEIRA, F., RODRIGUES, F., MORI, C. et ORTOLANI, E., 2020. Validation of a handheld β -hydroxybutyrate acid meter to identify hyperketonaemia in ewes. *PeerJ*. 10 avril 2020. Vol. 8, pp. e8933. DOI 10.7717/peerj.8933.

Arrêté du 9 avril 2021 portant extension de l'accord interprofessionnel conclu le 25 novembre 2020 dans le cadre de l'association nationale interprofessionnelle bétail et viande (INTERBEV) relatif au sevrage des agnelets destinés à l'engraissement, 2021. [en ligne]. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043370871>

BATTACONE, G., LUNESU, M., MANSO, T., VIEIRA, C., PULINA, G. et NUDDA, A., 2023. The quality of meat in milk fed lambs is affected by the ewe diet: A review. *Meat Science*, 1 janvier 2024. Vol. 207, pp. 109374. DOI 10.1016/j.meatsci.2023.109374.

BEDOUET, J., 2006. TB, TP, taux d'urée : des outils diagnostiques - *Le Point Vétérinaire* n° 262, 1 janvier 2006. [en ligne]. [Consulté le 9 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article/n-262/tb-tp-taux-d-uree-des-outils-diagnostiques.html#t2>

BENCHOHRA, M., 2014. Estimation de la production laitière chez les brebis Rembi par la méthode de la double pesée et celle de l'ocytocine suivie de traite manuelle. *Revue Ecologie-Environnement* 1112-5888. 1 janvier 2014. Vol. 10 ISSN 1112-5888

BERGONIER, D., 2023. Filière et système d'élevage. Cours de productions ovines, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, mars 2023.

BERGONIER, D., 2023. Maîtrise pratique de la pathologie mammaire et de la qualité du lait. Cours de productions ovines, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, avril 2023.

- BOBE, G., YOUNG, J. W. et BEITZ, D. C., 2004. Invited review: pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. octobre 2004. Vol. 87, n° 10, pp. 3105-3124. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(04)73446-3.
- BOCQUIER, F. et CAJA, G., 2001. Production et composition du lait de brebis : Effets de l'alimentation. *Productions Animales*. 1 mai 2001. Vol. 14, pp. 129. DOI 10.20870/productions-animales.2001.14.2.3734.
- BROCHARD, M., DUHEN, K., BOICHARD, D., 2014. Dossier « PhénoFinlait : Phénotypage et génotypage pour la compréhension et la maîtrise de la composition fine du lait ». *INRAE Productions Animales*, 21 octobre 2014, Vol. 27, n°4, p. 251-254. [en ligne]. [Consulté le 9 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://productions-animales.org/article/view/3071#>
- BRUGERE, H., 2021. Sécurité et qualité du lait et des produits laitiers. Cours d'hygiène et industries des aliments, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, mars 2021.
- BUTT, E., HYATT, BUDGE, H., SYMONDS, M. et STEPHENSON, T., 2006. Effect of maternal cold exposure and nutrient restriction on insulin-like growth factor sensitivity in adipose tissue of newborn sheep. In : [en ligne]. 1 août 2006. [Consulté le 22 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-maternal-cold-exposure-and-nutrient-on-in-Butt-Hyatt/e9de862159462293fb2e091a3e86da738b56e4cb>
- CHAY-CANUL, A., PTÁČEK, M., MACÍAS-CRUZ, U., PERALTA-TORRES, J., OJEDA-ROBERTOS, N., LEON, R. et GARCIA-HERRERA, R., 2020. Requirements of milk intake and intake of milk components for pre-weaning growth of Pelibuey lambs. *Tropical Animal Health and Production*. 20 novembre 2020. Vol. 53, n° 1, pp. 20. DOI 10.1007/s11250-020-02436-x.
- CHENEVIER, A., 2017. Production de colostrum et transfert d'immunité passive chez les ovins : cinétique et facteurs de variation. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2017, 70 p.
- CHILLIARD, Y., BOCQUIER, F. et DOREAU, M., 1998. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. *Reproduction, Nutrition, Development*. 1998. Vol. 38, n° 2, pp. 131-152. DOI 10.1051/rnd:19980201.
- CLUZEL, N., 2022. Programmation maternelle de la mortalité néonatale dans l'espèce ovine. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2022, 74 p.
- CNBL, 2019. L'alimentation des brebis laitières. Références et conseils pratiques. *Technipiel - Institut De l'Élevage*. ISBN 10 2714800351
- COMPTON, C. W. R., YOUNG, L. et MCDUGALL, S., 2015. Subclinical ketosis in post-partum dairy cows fed a predominantly pasture-based diet: defining cut-points for diagnosis using concentrations of beta-hydroxybutyrate in blood and determining prevalence. *New Zealand Veterinary Journal*. septembre 2015. Vol. 63, n° 5, pp. 241-248. DOI 10.1080/00480169.2014.999841.
- CORBIÈRE, F., ASTRUC, J. M., COSTES-ORI, V., JABRI, M., FANÇA, B., HASSOUN, P., MACHEFERT, C., MARIE-ETANCELIN, C., MEYNADIER, A. et LAGRIFOUL, G., 2022. Dynamique énergétique et des réserves corporelles en début de lactation chez les brebis laitières. 26. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants (3R 2022), *INRAE; IDELE*, Dec 2022, Paris, France. pp.8488. hal-04039683

COULON, J. B., HURTAUD, C., REMOND, B. et VERITE, R., 1998. Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows' milk true protein: a review of recent INRA experiments. *The Journal of Dairy Research*. août 1998. Vol. 65, n° 3, pp. 375-387. DOI 10.1017/s0022029998002866.

DANSO, A. S., MOREL, P. C. H., KENYON, P. R. et BLAIR, H. T., 2018. Effects of dietary protein and energy intake on growth, body composition and nutrient utilisation in lambs reared artificially with milk replacers and pellet feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 1 mars 2018. Vol. 237, pp. 35-45. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.007.

DAVID, I., BOUVIER, F., RICARD, E., RUESCHE, J. et WEISBECKER, J-L., 2013. No direct by maternal effects interaction detected for pre-weaning growth in Romane sheep using a reaction norm model. *Genetics Selection Evolution*. 30 septembre 2013. Vol. 45, n° 1, pp. 37. DOI 10.1186/1297-9686-45-37.

DE BOISSIEU, C., FONÇA, B. et HASSOUN, P., 2019. *L'alimentation des brebis laitières. Références et conseils pratiques*. Archive Ouverte d'INRAE. ISBN 978-2-7148-0035-0.

DE CREMOUX, R, LAGRIFOUL, G, BERNARD, J, LAUTIER, G et MILLET, F, 1997. Situation des comptages des cellules somatiques du lait de brebis et de chèvres en France. *Rencontres Recherches Ruminants (3 R)*. 1997, 4, p. 269-272.

Décret du 25 mars 1924 relatif au lait et aux produits de la laiterie - Légifrance. [en ligne]. [Consulté le 5 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGISCTA000006097535>

DE OLIVES, A. M., DIAZ, JR., MOLINA, D., PÉRIS, C., 2013. Quantification of milk yield and composition changes as affected by subclinical mastitis during the current lactation in sheep - *Journal of Dairy Science*, 14 octobre 2013, Vol, 96, N. 12, pp. 7698-7708. [en ligne]. [Consulté le 9 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(13\)00691-7/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(13)00691-7/fulltext)

DICKINSON, A. G., HANCOCK, J. L., HOVELL, G. J. R., TAYLOR, C. S. et WIENER, G., 1962. The size of lambs at birth—a study involving egg transfer. *Animal Production*. février 1962. Vol. 4, n° 1, pp. 64-79. DOI 10.1017/S0003356100034401.

DONALD, H. P. et RUSSELL, W. S., 1970. The relationship between live weight of ewe at mating and weight of newborn lamb. *Animal Science*. mai 1970. Vol. 12, n° 2, p. 273-280. DOI 10.1017/S000335610003885X.

DUDOQUET, Christian, 1997. *La production du mouton*. Paris : Éd. France agricole. Produire mieux. ISBN 978-2-85557-036-5.

EVERETT-HINCKS, J. M. et DODDS, K. G., 2008. Management of maternal-offspring behavior to improve lamb survival in easy care sheep systems. *Journal of Animal Science*. avril 2008. Vol. 86, n° 14 Suppl, pp. E259-270. DOI 10.2527/jas.2007-0503.

FERRAND-CALMELS, M., PALHIÈRE, I., BROCHARD, M., LERAY, O., ASTRUC, J. M., AUREL, M. R., BARBEY, S., BOUVIER, F., BRUNSCHWIG, P., CAILLAT, H., DOUGUET, M., FAUCON-LAHALLE, F., GELÉ, M., THOMAS, G., TROMMENSCHLAGER, J. M. et LARROQUE, H., 2014. Prediction of fatty acid profiles in cow, ewe, and goat milk by mid-infrared spectrometry. *Journal of Dairy Science*. 1 janvier 2014. Vol. 97, n° 1, pp. 17-35. DOI 10.3168/jds.2013-6648.

- FOLEY, J. A. et OTTERBY, D. E., 1978. Availability, Storage, Treatment, Composition, and Feeding Value of Surplus Colostrum: A Review¹, 2. *Journal of Dairy Science*. 1 août 1978. Vol. 61, n° 8, pp. 1033-1060. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(78)83686-8.
- FRANCE GÉNÉTIQUE ÉLEVAGE, 2011. Les index des races ovines, 21 novembre 2011. [en ligne]. [Consulté le 21 août 2023]. Disponible à l'adresse : <http://fr.france-genetique-elevage.org/Les-index-des-races-ovines.html>
- FRAYSSE, J-L. et GUITARD, J-P., 1992. *Produire des viandes. 2. Produire de la viande ovine*. Paris : Lavoisier - Technique et documentation. Agriculture d'aujourd'hui. ISBN 978-2-85206-686-1.
- GARDNER, D S, BUTTERY, P J, DANIEL, Z et SYMONDS, M E, 2007. Factors affecting birth weight in sheep: maternal environment. *Reproduction (Cambridge, England)*. janvier 2007. Vol. 133, n° 1, pp. 297-307. DOI 10.1530/REP-06-0042.
- GAUTIER, F. et LABUSSIÈRE, E., 2011. Origines alimentaires et digestion des nutriments chez le veau préruminant. *INRAE Productions Animales*. 7 juillet 2011. Vol. 24, n° 3, pp. 245-258. DOI 10.20870/productions-animales.2011.24.3.3259.
- GAUTIER, J-M. et CORBIERE, F., 2011. La mortalité des agneaux: état des connaissances. Rencontres Recherches Ruminants (3 R), décembre 2011, 18, Paris, France. p. 265-262.
- GAYRARD, V., 2023. Physiologie de la lactation. Cours de physiologie, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, avril 2023.
- GOUDJIL, H., FONTECHA, J., LUNA, P., MIGUEL ANGEL DE LA FUENTE, ALONSO, L. et JUÁREZ, M., 2004. Quantitative characterization of unsaturated and trans fatty acids in ewe's milk fat. *Le Lait*. septembre 2004. Vol. 84, n° 5, pp. 473-482. DOI 10.1051/lait:2004017.
- GOZLAN, J., 2014. Impact de la restriction énergétique en début de lactation sur le métabolisme et les caractères de production chez la brebis de race lacaune. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2014, 101 p.
- GRIFFITHS, K. J., RIDLER, A. L., COMPTON, Cwr, CORNER-THOMAS, R. A. et KENYON, P. R., 2019. Associations between lamb growth to weaning and dam udder and teat scores. *New Zealand Veterinary Journal*. juillet 2019. Vol. 67, n° 4, pp. 172-179. DOI 10.1080/00480169.2019.1596524.
- GURGEL, A., DIFANTE, G., NETO, J., FERNANDES, H., ÍTAVO, L., ÍTAVO, C., FERNANDES, P., BRIXNER, B., BEZERRA, J. et RIBEIRO, P., 2021. Evaluation of mathematical models to describe lamb growth during the pre-weaning phase. *Semina: Ciências Agrárias*. 22 avril 2021. Vol. 42, n° 3Supl1, pp. 2073-2080. DOI 10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p2073.
- HA, S., KANG, S., JEONG, M., HAN, M., LEE, J., CHUNG, H. et PARK, J., 2022. Characteristics of Holstein cows predisposed to ketosis during the post-partum transition period. *Veterinary Medicine and Science*. 18 novembre 2022. Vol. 9, n° 1, pp. 307-314. DOI 10.1002/vms3.1006.
- HASSOUN, P., BERTHELOT, V., BOCQUIER, F., 2018. 20. Ovins en lactation, en croissance et à l'engrais. In INRA. Alimentation des ruminants. Éditions Quae, 2018. p. 377-398
- HATCHER, S., ATKINS, K. D., SAFARI, E., 2009. Phenotypic aspects of lamb survival in Australian Merino sheep. *Journal of Animal Science*. 1 septembre 2009. Vol. 87, p. 2781-2790. DOI 10.2527/jas.2008-1547
- HERATH, H. M. G. P., PAIN, S. J., KENYON, P. R., BLAIR, H. T. et MOREL, P. C. H., 2020. Effect of dietary protein to energy ratio of milk replacer on growth and body composition of pre-weaned lambs

reared artificially. *Animal Feed Science and Technology*. 1 juin 2020. Vol. 264, pp. 114478. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2020.114478.

IDELE, 2020. Résultats de contrôle laitier. Espèce ovine. France 2020. *Institut de l'élevage IDELE*, 2020. [en ligne]. [Consulté le 6 septembre 2023]. Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F4be55734-ae1a-4c09-a8ca-ad048bc3796f&cHash=f87d7832876fe79ca0c43a7ec45ea71d

IDELE, 2022a. Les chiffres clés du GEB. Ovin 2022 - Productions lait et viande, *Institut de l'élevage IDELE et Confédération Nationale de l'Élevage*, 2022. [en ligne]. [Consulté le 2 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2022/09/Chiffres-cles-Ovins-2022.pdf>

IDELE, 2022b. Économie de l'élevage. Dossier ovins - Filière lait de brebis, *Institut de l'élevage IDELE*, septembre 2022, n°532. [en ligne]. [Consulté le 4 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F70a9d3ab-40ef-4e2a-83df-0685a4ca137b&cHash=55f44d6f864da50ce5badd29e7cea7c0

IDELE, 2023a. Économie de l'élevage. Dossier annuel bovins lait - Année 2022 - Perspective 2023, *Institut de l'élevage IDELE*, février 2023, n°537. [en ligne]. [Consulté le 4 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fbdf482ad-8ffb-43ef-8d4f-e3096bfcf42c&cHash=e4c016da1d47c46e35d420644ebeb29a

IDELE, 2023b. Économie de l'élevage. Dossier annuel ovins - Année 2022 - Perspective 2023, *Institut de l'élevage IDELE*, avril 2023, n°539. [en ligne]. [Consulté le 2 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F5a860a67-0b9e-4070-972c-246deb5507ab&cHash=8f6a724720e26bd0feeb564e9f74a891

IDELE, 2023c. Référentiel technico-économique de l'élevage ovin lait. *Institut de l'élevage IDELE*, mars 2023. [en ligne]. [Consulté le 2 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/inosys-reseaux-elevage/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F9d5078e8-0f8e-4385-aa00-dfa67bc638a7&cHash=76f31616e5de10849c9319ba458bffb

INTERBEV, 2020. L'essentiel de la filière ovine française. *Interprofession bétail et viande*. 2020. [en ligne]. [Consulté le 02 août 2023]. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2021/05/lessentiel-ovins-2020-bd-1.pdf>

JACQUET, A. et ROUSSET, A. L., 2013. La production de colostrum chez la brebis : évaluation de la variabilité de la concentration et de la masse d'immunoglobulines G1(IgG1). *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2013, 128 p.

JENNESS, R., 1980. Composition and Characteristics of Goat Milk: Review 1968–19791. *Journal of Dairy Science*. 1 octobre 1980. Vol. 63, n° 10, pp. 1605-1630. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(80)83125-0.

JIQING, W., ZHIYUN, H., JIANG, H., XIU, L., SHAOBIN, L., JIANQING, W., JIYUAN, S., YUZHU, L., 2021. Small RNA deep sequencing reveal the expressions of microRNAs in ovine mammary gland development at peak-lactation and during the non-lactating period - *ScienceDirect*, janvier 2021, Vol. 113, I.1, Part 2, pp.637-646. [en ligne]. [Consulté le 9 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888754320301816?via%3Dihub>

- KALYESUBULA, M., ROSOV, A., ALON, T., RAPTOR, MOALLEM, U. et DVIR, H., 2019. Intravenous Infusions of Glycerol Versus Propylene Glycol for the Regulation of Negative Energy Balance in Sheep: A Randomized Trial. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 26 septembre 2019. Vol. 9, n° 10, pp. 731. DOI 10.3390/ani9100731.
- LABUSSIÈRE, J., PÉTREQUIN, P., COMBAUD, J.-F. et MIRMAN, B., 1969. Relations entre l'aptitude à la traite des brebis et la perte de production laitière constatée au moment du sevrage. *Annales de Zootechnie* [en ligne]. 1969. Vol. 18, n° 1. [Consulté le 6 décembre 2023]. DOI 10.1051/animres:19690101.
- LAGRIFFOUL, G., MORIN, E., ASTRUC, J.M., BOCQUIER, F., de BOISSIEU, C., HASSOUN, P., LEGARTO, J.P., MARNET, P.G., POULET, J.L., BARILLET, F., 2016. Panorama de la production de lait de brebis en France et son évolution depuis 50 ans. *INRAE Productions Animales*, 13 avril 2016, Vol. 29,. [en ligne]. [Consulté le 6 décembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://productions-animales.org/article/view/2512>
- LEBRET, B., PRACHE, S., BERRI, C., LEFÈVRE, F., BAUCHART, D., PICARD, B., CORRAZE, G., MÉDALE, F., FAURE, J. et ALAMI-DURANTE, H., 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. *INRAE Productions Animales*. 24 juin 2015. Vol. 28, n° 2, pp. 151-168. DOI 10.20870/productions-animales.2015.28.2.3022.
- LEVIEUX, D., 1984. Transmission de l'immunité colostrale chez le veau. *Le Point Vétérinaire*. 1984. Vol. 82.
- MARTIN, P., 2013. Analyse du gène Lacaune d'hyperprolificité dans la population Lacaune Viande Ovi-Test. Sciences agricoles. 2013
- MARTIN, P., RAOUL, J. et BODIN, L., 2014. Effects of the Fecl major gene in the Lacaune meat sheep population. *Genetics, selection, evolution : GSE*. 12 août 2014. Vol. 46, p. 48. DOI 10.1186/1297-9686-46-48.
- MARTIN, T. G., SALES, D. I., SMITH, C. et NICHOLSON, D., 1980. Phenotypic and genetic parameters for lamb weights in a synthetic line of sheep. *Animal Science*. avril 1980. Vol. 30, n° 2, pp. 261-269. DOI 10.1017/S0003356100024041.
- MICHAUX, H., 2008. Cétose de la vache laitière : Dosage du Beta-hydroxybutyrate dans le lait avec le lecteur Optimum XCEED®. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 2008, 136 p
- MOHAPATRA, A., SHINDE, A. et SINGH, Raghvendar, 2019. Sheep milk: A pertinent functional food. *Small Ruminant Research*. 1 octobre 2019. Vol. 181. DOI 10.1016/j.smallrumres.2019.10.002.
- NGERE, L., BURKE, J. M., NOTTER, D. R., MORGAN, J. L. M., 2017. Variance components for direct and maternal effects on body weights of Katahdin lambs. *Journal of Animal Science*, Vol. 95, 8 août 2017, p. 3396–3405. DOI 10.2527/jas.2017.1596
- NGUYEN, V. Q., 2022. Nutritional value and factors affecting milk production and milk composition from dairy sheep: A review. *Can Tho University Journal Of Science*. 31 mai 2022. Vol. 14, n° 3, p. 53-64. DOI 10.22144/ctu.jen.2022.047
- NOVOTNÁ, L., KUČTÍK, J., [SBREVE]USTOVÁ, K., ZAPLETAL, D. et FILIP[CBREVE]ÍK, R., 2009. Effects of Lactation Stage and Parity on Milk Yield, Composition and Properties of Organic Sheep Milk. *Journal of Applied Animal Research*. 1 septembre 2009. Vol. 36, n° 1, pp. 71-76. DOI 10.1080/09712119.2009.9707034.

- OGET, C., 2019. Effet pléiotrope de la mutation R96C dans le gène SOCS2 chez la brebis laitière. Thèse d'exercice, Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition, Sciences écologiques, vétérinaires, agronomiques et bioingénieries - SEVAB, 2019, 243 p.
- PANOUSIS, N., VALERGAKIS, G., KALAITZAKIS, E., SIACHOS, N., KIOSIS, E. et ARSENOS, G., 2018. Evaluation of a portable ketometer for onsite monitoring of blood β hydroxybutyrate concentrations in dairy sheep and goats. *Revue de médecine vétérinaire*. 13 novembre 2018. Vol. 10-12, pp. 197-202.
- PARK, Y. W., JUÁREZ, M., RAMOS, M. et HAENLEIN, G. F. W., 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 1 mars 2007. Vol. 68, n° 1, pp. 88-113. DOI 10.1016/j.smallrumres.2006.09.013.
- PELLEGRINI, O, REMEUF, F et RIVEMALE, M, 1994. Évolution des caractéristiques physico-chimiques et des paramètres de coagulation du lait de brebis collecté dans la région de Roquefort. *Le Lait*. 1994. Vol. 74, n° 6, pp. 425-442.
- PHÉNOFINLAIT, 2012. Outils et perspectives en filière ovine laitière : fruits de 5 ans de recherche. Novembre 2012. [en ligne] [Consulté le 9 septembre 2023] Disponible à l'adresse suivante : https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/Phenofinlait/Resultats_en_filiere_ovine.pdf
- PINOT, R., TEISSIER, J.-H. et BAUCHAU, P., 1965. L'allaitement artificiel des agneaux. I. - Comparaison entre différents laits de remplacement et le lait de brebis. *Annales de zootechnie*. 1965. Vol. 14, n° 3, pp. 261-278.
- POLIDORI, P., RAPACCETTI, R., KLIMANOVA, Y., ZHANG, J.-J., SANTINI, G. et VINCENZETTI, S., 2022. Nutritional Parameters in Colostrum of Different Mammalian Species. *Beverages*. septembre 2022. Vol. 8, n° 3, pp. 54. DOI 10.3390/beverages8030054.
- PONCELET, J. L., 2010. Production et engraissement des agneaux dans le bassin de Roquefort. Commission ovine. *Société Nationale des Groupements Techniques Vétérinaires - SNGTV*, novembre 2010, fiche n°165 [en ligne] [Consulté le 4 août 2023] Disponible à l'adresse suivante : <http://ovine.sngtv.pagesperso-orange.fr/Engraissement%20agneaux.pdf>
- PRACHE, S. et BAUCHART, D., 2015. La viande et la carcasse des agneaux : les principales qualités recherchées. *INRA Productions Animales*. 2015. Vol. 28, n° 2, pp. 105.
- RAYNAL-LJUTOVAC, K., LAGRIFFOUL, G., PACCARD, P., GUILLET, I. et CHILLIARD, Y., 2008. Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small Ruminant Research*. 1 septembre 2008. Vol. 79, n° 1, pp. 57-72. DOI 10.1016/j.smallrumres.2008.07.009.
- RIBEIRO, C., 2014. Évaluation expérimentale des conséquences d'une restriction énergétique en début de lactation sur la réponse inflammatoire mammaire chez la brebis laitière. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT*, 1994, 119 p.
- RICORDEAU, G., BOCCARD, R., DAMIANI, C. et VAN WILLIGEN, A., 1961. Relations entre la quantité de lait consommé par les agneaux et leur croissance. *Annales de Zootechnie*. 1961. Vol. 10, n° 2, p. 113-125. DOI 10.1051/animres:19610205.
- RIGAL, V., 1994. Contribution à l'étude des techniques d'engraissement des agneaux de bergerie : comparaison technique, économique et sanitaire des résultats de deux lots d'agneaux engraisés avec ou sans sevrage. *Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort – ENVA*, 1994, 132 p.

RUIZ, R., OREGUI, L.M. et HERRERO, M., 2000. Comparison of Models for Describing the Lactation Curve of Latxa Sheep and an Analysis of Factors Affecting Milk Yield. *Journal of Dairy Science*. novembre 2000. Vol. 83, n° 11, pp. 2709-2719. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)75165-4.

RUPP, R., SENIN, P., SARRY, J., ALLAIN, C., TASCA, C., LIGAT, L., PORTES, D., WOLOSZYN, F., BOUCHEZ, O., TABOURET, G., LEBASTARD, M., CAUBET, C., FOUCRAS, G. et TOSSER-KLOPP, G., 2015. A point mutation dans suppresseur de cytokine signaling 2 (Socs2) augmente la sensibilité à l'inflammation de la glande mammaire tandis que associée à un poids corps plus élevé et une taille et une production de lait plus élevée chez un modèle de mouton. *Plos Genetics*. 2015. Vol. 11, n° 12, pp. 1-19.

SAGOT, L. et POTTIER, E., 2011. Grille de classement EUROP de classement pour l'état d'engraissement, 2011. [en ligne] [Consulté le 5 août 2023] Disponible à l'adresse suivante : <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2017/03/EtatEngraissement.pdf>

SAUVANT, D., NOZIERE, P., ORTIGUES-MARTY, I., 2018. 6. Dépenses, efficacité métabolique et besoins en énergie. In INRA. Alimentation des ruminants. Éditions Quae, 2018. p. 99-129

SCHELCHER, F., 2023. Cours de pathologie des ovins, mars 2023.

SOYEURT, H., DEHARENG, F., GENGLER, N., MCPARLAND, S., WALL, E., BERRY, D. P., COFFEY, M. et DARDENNE, P., 2011. Mid-infrared prediction of bovine milk fatty acids across multiple breeds, production systems, and countries. *Journal of Dairy Science*. 1 avril 2011. Vol. 94, n° 4, pp. 1657-1667. DOI 10.3168/jds.2010-3408.

THERIEZ, M., PATUREAU-MIRAND, P., MOLENAT, G., BRELURUT, A., BRUN, J.-P. et DACHEUX, P., 1977. Allaitement artificiel de l'agneau. VI. – Comparaison de différents teneurs en matières azotées du lait de remplacement. *Annales de zootechnie*. 1977. Vol. 26, n° 3, pp. 297-313.

UPRA Lacaune, 2023. Organisme de sélection des races de brebis Lacaune [en ligne]. UPRA Lacaune. 2023 [Consulté le 4 août 2023] <https://www.race-lacaune.fr/>

NOM : SOULIÉ

Prénom : Salomé

Titre : *Étude expérimentale de la croissance des agneaux issus de brebis laitières de race Lacaune de la naissance au sevrage : mise en relations des paramètres zootechniques des agneaux et des mères*

Résumé : La vente d'agneau représente une part non-négligeable du revenu des éleveurs laitiers. Un agneau plus lourd rapportera plus d'où l'importance d'optimiser la croissance des agneaux qui en période d'allaitement dépend étroitement des aptitudes maternelles. Cette thèse présente une étude de la croissance avant sevrage des agneaux issus de brebis Lacaune laitière. La croissance a été étudiée via le gain moyen quotidien calculé sur environ un mois, entre la naissance et le sevrage. Ce dernier a été confronté à divers facteurs et notamment maternels, permettant une exploration de la période allaitement-traite. Les analyses menées ont permis d'établir qu'outre le sexe, la taille de portée ou encore le poids à la naissance, l'alimentation et particulièrement la composition du lait des mères reste un facteur de variation déterminant. Aucune des analyses n'a fait ressortir de relation significative entre la croissance des agneaux et les marqueurs du métabolisme usuels des brebis.

Mots clés : agneaux ; croissance ; Lacaune ; allaitement-traite ; production laitière ; statut métabolique

LAST NAME: SOULIÉ

NAME: Salomé

Title: *Experimental study of the growth of lambs from dairy Lacaune ewe from birth to weaning: comparison of the zootechnical parameters of lambs and mothers*

Summary: Lamb sells represents a significant share of dairy farmers' income. A heavier lamb will yield better return, hence the importance of optimizing the growth of lambs, which in the suckling period closely depends on maternal skills. This thesis presents a study of the growth before weaning of lambs from dairy Lacaune ewe. Growth was studied through the average daily gain calculated over about one month, between birth and weaning. The latter was confronted with various factors, especially maternal, allowing an exploration of the suckling and milking period. The analyses conducted have shown that, in addition to sex, litter size or birth weight, feeding and especially the composition of mothers' milk remains a determining factor of variation. None of the analyses showed a significant relationship between lamb growth and the usual markers of ewe metabolism.

Key words: lambs; growth; Lacaune; suckling and milking, milk production; metabolic status