



HAL
open science

**Relations entre l'évolution de l'état corporel chez les
brebis laitières en début de lactation et les
concentrations sanguines en bêta-hydroxybutyrate et en
acide gras non estérifiés et la composition du lait : étude
préliminaire dans le rayon de Roquefort et les
Pyrénées-Atlantiques**

Manon Gonçalves-Brandão

► **To cite this version:**

Manon Gonçalves-Brandão. Relations entre l'évolution de l'état corporel chez les brebis laitières en début de lactation et les concentrations sanguines en bêta-hydroxybutyrate et en acide gras non estérifiés et la composition du lait : étude préliminaire dans le rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04312081

HAL Id: dumas-04312081

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04312081>

Submitted on 28 Nov 2023

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.

RELATIONS ENTRE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT CORPOREL CHEZ LES BREBIS LAITIÈRES EN DÉBUT DE LACTATION ET LES CONCENTRATIONS SANGUINES EN BETA-HYDROXYBUTYRATE ET EN ACIDES GRAS NON ESTERIFIÉS ET LA COMPOSITION DU LAIT : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DANS LE RAYON DE ROQUEFORT ET LES PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

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

GONÇALVES-BRANDAO Manon

Directeur de thèse : M. Fabien CORBIÈRE

JURY

PRESIDENT :
M. Gilles FOUCRAS

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Fabien CORBIÈRE
Mme Chloé SAADA

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Ingénieure de recherche à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**RELATIONS ENTRE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT
CORPOREL CHEZ LES BREBIS LAITIÈRES EN DÉBUT DE
LACTATION ET LES CONCENTRATIONS SANGUINES
EN BETA-HYDROXYBUTYRATE ET EN ACIDES GRAS
NON ESTERIFIÉS ET LA COMPOSITION DU LAIT :
ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DANS LE RAYON DE
ROQUEFORT ET LES PYRÉNÉES-ATLANTIQUES**

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

GONÇALVES-BRANDAO Manon

Née le 14/11/1996 à SEMUR-EN-AUXOIS (21)

Directeur de thèse : **M. Fabien CORBIÈRE**

JURY

PRESIDENT :
M. Gilles FOUCRAS

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Fabien CORBIÈRE
Mme Chloé SAADA

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Ingénieure de recherche à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE 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 **PRIYENKO 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**, *Microbiologie et infectiologie*
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 réglementées*
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

Au président du jury,

A Monsieur le Professeur Gilles FOUCRAS,
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Pathologie des Ruminants,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommage respectueux et sincères remerciements.

Au jury de thèse,

A Monsieur le Professeur Fabien CORBIERE,
Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Pathologie des Ruminants,

Qui m'a proposé ce sujet de thèse et accordé sa confiance,
Pour ses conseils précieux ainsi que sa disponibilité.
Veuillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect et de ma reconnaissance.

A Madame la Docteur Chloé SAADA,
Ingénieure de recherche de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Praticienne hospitalière en gestion intégrée de la santé des ruminants,
Pathologie des Ruminants,

Pour avoir accepté de prendre part à ce jury et pour son soutien,
Sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	5
TABLE DES MATIERES.....	6
TABLE DES ILLUSTRATIONS	8
Liste des figures	8
Liste des tableaux.....	12
TABLE DES ABBREVIATIONS.....	15
I. INTRODUCTION.....	17
I.1. Contextualisation : l'élevage ovin laitier.....	17
I.1.1. <i>Caractéristiques de la filière ovine laitière.....</i>	<i>17</i>
I.1.2. <i>Description des bassins Roquefort (ROQ) et Pyrénées-Atlantiques (PA).....</i>	<i>19</i>
I.2. Lactation des brebis : caractéristiques physiologiques et conséquences technico-économiques.....	25
I.2.1. <i>Chronologie du cycle de production</i>	<i>25</i>
I.2.2. <i>Caractéristiques de la lactation des brebis laitières</i>	<i>27</i>
I.3. Métabolisme énergétique des brebis laitières	43
I.3.1. <i>Définition du bilan énergétique négatif.....</i>	<i>43</i>
I.3.2. <i>Conséquences d'un bilan énergétique négatif et indicateurs associés</i>	<i>47</i>
I.4. Contexte et objectifs de l'étude	57
II. MATERIEL ET METHODES.....	61
II.1. Conception de l'étude.....	61
II.2. Population d'étude.....	61
II.2.1. <i>Elevages et caractéristiques des troupeaux</i>	<i>61</i>
II.2.2. <i>Effectifs et caractéristiques des brebis prélevées.....</i>	<i>63</i>
II.3. Prélèvements et recueil de données	67
II.3.1. <i>Prélèvements sanguins</i>	<i>67</i>
II.3.2. <i>Prélèvements de lait</i>	<i>69</i>
II.3.3. <i>Notes d'état corporel.....</i>	<i>69</i>
II.3.4. <i>Extraction et calculs des données de production et de reproduction.....</i>	<i>71</i>
II.4. Analyses de laboratoire.....	73
II.4.1. <i>Métabolites sanguins.....</i>	<i>73</i>
II.4.2. <i>Composition du lait.....</i>	<i>75</i>
II.5. Analyses des données	75
II.5.1. <i>Base de données</i>	<i>75</i>
II.5.2. <i>Analyses statistiques.....</i>	<i>77</i>
II.5.3. <i>Principes de construction des modèles de régression linéaire mixtes</i>	<i>77</i>
II.6. Implication personnelle	81
III. RESULTATS.....	83
III.1. Validation des méthodes de mesures utilisées	83
III.1.1. <i>Utilisation du lecteur Freestyle® Optium NEO pour la mesure des concentrations en BHB sanguin.....</i>	<i>83</i>

III.1.2. Utilisation du kit de dosage par colorimétrie enzymatique Instruchemie® pour la mesure des concentrations en AGNE sanguins	83
III.2. Cinétique journalière des BHB et des AGNE sanguins	85
III.2.1. Corrélation entre les valeurs de concentration en BHB et AGNE sanguins mesurées au cours de la journée	85
III.2.2. Cinétique journalière du BHB sanguin	85
III.2.3. Cinétique journalière des AGNE sanguins	91
III.2.4. Conclusion partielle – cinétique des BHB et AGNE sanguins	99
III.3. Dynamique des réserves corporelles et lien avec les indicateurs métaboliques sanguins ou les données de production et de composition du lait	101
III.3.1. Description des notes d'état corporel	101
III.3.2. Description des données de concentrations en BHB et AGNE mesurées	107
III.3.3. Mise en relation des variations des NEC avec les données de production et de composition fine du lait	117
III.3.4. Mise en relation des variations des NEC avec les concentrations en BHB et AGNE sanguins	129
IV. DISCUSSION	133
IV.1. Résultats de l'étude	133
IV.1.1. Méthodes de mesure des métabolites sanguins BHB et AGNE	133
IV.1.2. Cinétique journalière des métabolites sanguins BHB et AGNE	133
IV.1.3. Pertinence des indicateurs du bilan énergétique négatif chez la brebis laitière en début de lactation	137
IV.2. Limites de l'étude	143
IV.2.1. Représentativité de l'échantillon étudié	143
IV.2.2. Construction du protocole et coordination des acteurs impliqués	145
IV.2.3. Analyse des données	147
IV.3. Perspectives d'application et poursuite du travail initié	149
IV.3.1. Perspectives d'application	149
IV.3.2. Améliorations et poursuite du travail initié	151
V. CONCLUSION	155
VI. BIBLIOGRAPHIE	158
ANNEXE I : SYNTHESE DES RESULTATS DES MODELES DE REGRESSION LINEAIRE : DEFINITION DU MEILLEUR MODELE PAR COMPARAISON DES AIC ET SIGNIFICATIVITE DE L'EFFET DE LA VARIATION DE NOTE D'ETAT CORPOREL	164

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 – Répartition du cheptel laitier en fonction de la taille des troupeaux (selon données BDNI) en France au 01.01.2020 – Adapté de (GEB 2022).....	18
Figure 2 – Répartition régionale du cheptel reproducteur laitier français en novembre 2021 (selon données SSP) Adapté de (GEB 2022)	18
Figure 3 – Représentation simplifiée du principal système de production en brebis laitières Lacaune	24
Figure 4 – Production laitière et taux utiles du lait des brebis Lacaune au cours de la période de traite exclusive à partir des données du contrôle laitier officiel 2016.....	28
Figure 5 – Composition comparée des laits de vache, chèvre et brebis – Adapté de (Martin et al. 2014).....	28
Figure 6 – Double origine des acides gras du lait – Adaptée de (Bauman, McGuire, Harvatine 2011).....	30
Figure 7 – Production laitière, taux butyreux et protéique des races Lacaune, Basco-Béarnaise, Manech Tête Rousse et Noire	32
Figure 8 – Schéma récapitulatif du métabolisme hépatique des lipides.....	46
Figure 9 – Protocole de phénotypage des projets IRMA et SMARTER.....	60
Figure 10 – Corrélations entre les concentrations de BHB sanguin selon la méthode de mesure utilisée	82
Figure 11 – Corrélations entre les concentrations des AGNE sanguins selon la méthode de mesure utilisée.....	82
Figure 12 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	84
Figure 13 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1).....	84
Figure 14 – Cinétique journalière (selon le délai par rapport au repas) des concentrations moyennes (+/- écart-type) en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	86

Figure 15 – Profils de variation individuelle des concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT)	86
Figure 16 – Profils de variation individuelle des concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h au premier contrôle laitier (CL1).....	88
Figure 17 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – variation au sein des profils.....	88
Figure 18 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – comparaison entre les profils.....	90
Figure 19 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	90
Figure 20 – Cinétique journalière (selon le délai par rapport au repas) des concentrations moyennes (+/- écart-type) en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	92
Figure 21 – Profils de variation individuelle des concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT).....	92
Figure 22 – Profils de variation individuelle des concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h au premier contrôle laitier (CL1)	94
Figure 23 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – variation au sein des profils.....	94
Figure 24 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d’allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – comparaison entre les profils.....	96

Figure 25 – Distribution des notes d'état corporel selon le bassin, la race et l'élevage et comparaison des distributions entre les deux bassins de production	100
Figure 26 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) par bassin de production.....	102
Figure 27 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) au sein des élevages du Rayon de Roquefort.....	102
Figure 28 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) au sein des élevages des Pyrénées-Atlantiques.....	104
Figure 29 – Distribution des variations de NEC entre fin de gestation et allaitement-traite (« NEC2 – NEC1 ») et entre allaitement-traite et premier contrôle laitier (« NEC3 – NEC2 ») dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques.....	104
Figure 30 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) selon le bassin	106
Figure 31 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin en période d'allaitement-traite (AT = « 1 ») et au premier contrôle laitier (CL1 = « 2 »), selon le bassin, la race et l'élevage.....	106
Figure 32 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB sanguin selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	108
Figure 33 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) selon le bassin	110
Figure 34 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins en période d'allaitement-traite (AT = « 1 ») et au premier contrôle laitier (CL1 = « 2 »), selon le bassin, la race et l'élevage.....	110
Figure 35 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en AGNE sanguin selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)	112
Figure 36 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguins selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi) en période d'allaitement-traite (AT).....	114
Figure 37 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguins selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi) au premier contrôle laitier (CL1).....	114

Figure 38 – Distribution des écarts à la moyenne intra-rang et intra-troupeau des productions
laitières de référence à 50 (LAIR50) et 160 (LAIR160) jours de lactation selon le bassin de
production..... 116

Liste des tableaux

Tableau 1 – Production laitière et durée de traite des 3 races de brebis laitières du bassin Pyrénées-Atlantiques.....	24
Tableau 2 – Synthèse des stades au pic de lactation recensés dans la littérature selon la race	26
Tableau 3 – Composition moyenne du lait de brebis – Adapté de (Raynal-Ljutovac et al. 2008) Ces valeurs sont issues d’une compilation des données de 86 publications par Paccard et Lagriffoul.....	28
Tableau 4 – Profil en acides gras de la matière grasse des laits de vache, chèvre et brebis.....	30
Tableau 5 - Synthèse des évaluations recensées dans la littérature relative à l’utilisation d’analyseur à moindre coût et lecteur portable pour mesurer la concentration en AGNE sanguins	48
Tableau 6 - Synthèse des seuils, sensibilités et spécificités des trois tests (matrice) utilisés pour évaluer les concentrations en BHB – Adapté de la méta-analyse de Tatone et al. (2016)	50
Tableau 7 – Synthèse des évaluations recensées dans la littérature relative à l’utilisation de lecteur portable pour mesurer la concentration en BHB sanguin chez les brebis	52
Tableau 8 – Age moyen au premier et second agnelage des troupeaux prélevés au cours de la campagne 2021.....	62
<i>Tableau 9 – Caractéristiques des brebis prélevées (race, élevage, rang de lactation) au cours de la campagne 2021.....</i>	<i>62</i>
Tableau 10 – Distribution des dates d’agnelages des brebis prélevées au cours de la campagne 2021.....	64
Tableau 11 – Nombre de prélèvements effectués par brebis et par élevage au cours de la campagne 2021.....	64
Tableau 12 – Caractéristiques des brebis prélevées (race, élevage, rang de lactation) au cours de la campagne 2022	64
Tableau 13 – Délais entre agnelages et prélèvements sanguins (par visites, bassins et élevages) au cours de la campagne 2021.....	66
Tableau 14 – Délais entre agnelages et prélèvements sanguins et détails des séries de prélèvements (horaires et effectifs) au cours de la campagne 2022.....	66
Tableau 15 – Délais entre agnelages et prélèvements de lait (par visites, bassins et élevages) au cours de la campagne 2021	68

Tableau 16 – Effectifs et délais entre agnelages et évaluations des NEC au cours de la campagne 2021	70
Tableau 17 – Effectifs des concentrations en BHB selon la méthode de mesures utilisée	72
Tableau 18 – Effectifs des concentrations en AGNE selon la méthode de mesures utilisée....	72
Tableau 19 – Répartition des notes d'état corporelles évaluées en fin de gestation (« 1 »), en allaitement-traite (« 2 ») et au premier contrôle laitier (« 3 ») dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques.....	104
Tableau 20 –Moyenne (écart-type) et médianes (quartiles) des concentrations en BHB sanguins mesurées par élevage et par visite.	108
Tableau 21 – Moyenne (écart-type) et médianes (quartiles) des concentrations en AGNE sanguins mesurées par élevage et par visite.	112
Tableau 22 – Eléments du lait évalué par spectrométrie infrarouge étudiés pour caractériser les liens avec les variations de notes d'état corporel	116
Tableau 23 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC ₁) et allaitement-traite (NEC ₂) dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques – effet du Δ NEC _{1→2}	119
Tableau 24 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC ₁) et allaitement-traite (NEC ₂) dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques – autres effets.....	121
Tableau 25 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC ₁) et allaitement-traite (NEC ₂) dans le Rayon de Roquefort – effet du Δ NEC _{2→3} ou du Δ NEC _{1→3}	123
Tableau 26 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC ₁) et allaitement-traite (NEC ₂) dans le Rayon de Roquefort – autres effets	125

TABLE DES ABBREVIATIONS

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
AIC :	Critère d'information d'Akaike
AOP :	Appellation d'origine protégée
AT :	Allaitement-traite
BB :	Basco-Béarnaise (race)
BDNI :	Base de données nationale d'identification
BHB :	Bêta-hydroxybutyrate
CCS :	Comptage de cellules somatiques
CL1 :	Premier contrôle laitier
CLO :	Contrôle laitier officiel
IA :	Insémination artificielle
IGP :	Indication géographique protégée
LAC :	Lacaune (race)
LAIR160 :	Lait de référence à 160 jours
LAIR50 :	Lait de référence à 50 jours
M / AM :	Matin / Après-midi
MAT :	Matière azotée totale
MIR :	Moyen infrarouge
MTN :	Manech Tête Noire (race)
MTR :	Manech Tête Rousse (race)
NEC :	Note d'état corporel
PA :	Pyrénées-Atlantiques (bassin)
PL :	Production laitière
PLS :	Production laitière standardisée
Q1 :	Premier quartile (25%)
Q3 :	Troisième quartile (75%)
ROQ :	Roquefort (bassin)
SIEOL :	Système d'Information en Elevage Ovin Laitier
SSP :	Service de la statistique et de la prospective
TB :	Taux butyreux
TP :	Taux protéique

I. INTRODUCTION

I.1. Contextualisation : l'élevage ovin laitier

I.1.1. *Caractéristiques de la filière ovine laitière*

I.1.1.1. *Filière ovine laitière en Europe*

Considérant les cheptels reproducteurs ovins laitiers nationaux, la Turquie se place en tête des pays de l'Union Européenne (27 pays) avec environ 22 millions d'animaux en 2019. On place ensuite les cheptels roumain, grec et italien qui représentent respectivement 8, 6 et 5 millions d'animaux en 2019.

En terme de production pour l'année 2019, c'est aussi la Turquie qui occupe la première place avec une production avoisinant les 1,5 milliard de litres. Cependant, la taille des cheptels des pays européens ne reflètent pas forcément leur rang en terme de production laitière. Et les autres principaux producteurs sont la Grèce (944 millions de litres), l'Espagne (563 millions de litres) et la Roumanie (493 millions de litres). La France occupe quant à elle la sixième place.

Toutefois, si on s'intéresse au taux de collecte des pays européens, on remarque que ce dernier est supérieur à 79% pour la Grèce, la France et l'Espagne pour l'année 2018 ; tandis qu'il avoisine les 5% pour la Roumanie et la Turquie, pays pour lesquels l'autoconsommation et la transformation en élevage sont majeures.

La Grèce se distingue particulièrement par la prépondérance de la filière ovine lait qui, en 2019, représente 48% de sa production laitière nationale. A contrario, la France est le pays pour lequel cette proportion est la plus faible (autour de 1%) largement devancée par la filière bovine lait.

Sur les marchés internationaux, la France, l'Espagne et l'Italie sont les pays européens ayant une filière ovine lait suffisamment structurée et compétitive. (IDELE 2022).

I.1.1.2. *Filière ovine laitière en France*

Selon le dernier recensement agricole décennal de 2020 réalisé par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP), la France compte 35 796 élevages ovins (plus de 10 ovins adultes ou capacité d'engraissement supérieure à 100 agneaux), dont 4 735 exploitations de brebis laitières. La Base de Données Nationales d'Identification

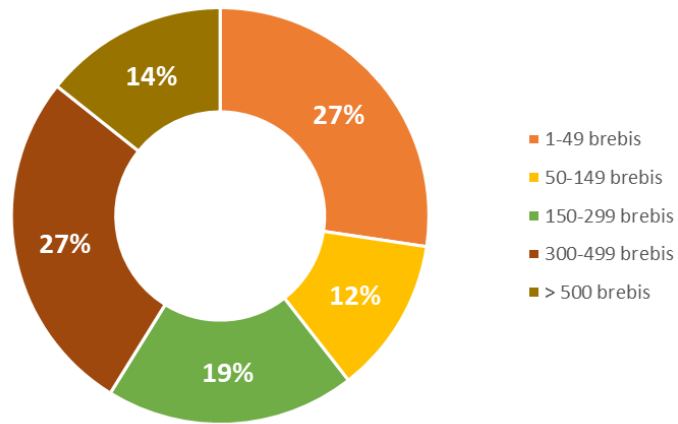


Figure 1 – Répartition du cheptel laitier en fonction de la taille des troupeaux (selon données BDNI) en France au 01.01.2020 – Adapté de (GEB 2022)

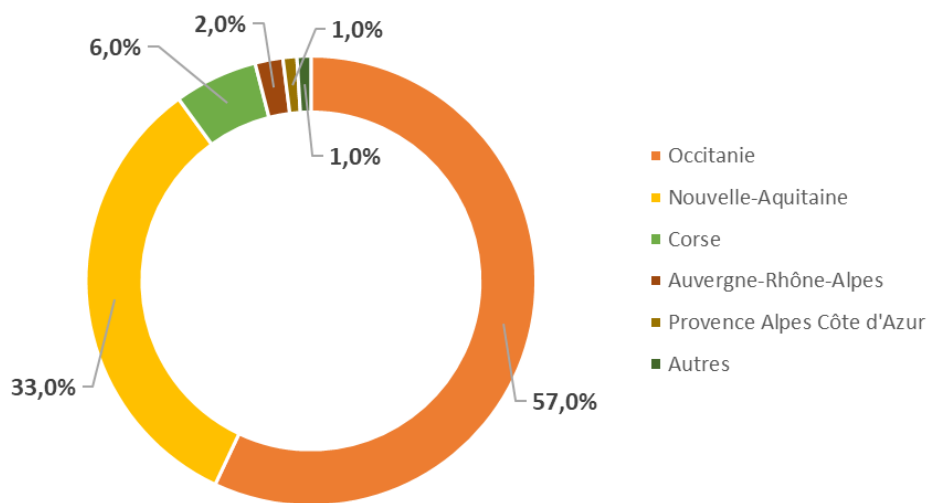


Figure 2 – Répartition régionale du cheptel reproducteur laitier français en novembre 2021 (selon données SSP) Adapté de (GEB 2022)

(BDNI) recense quant à elle, 5 926 élevages détenant des ovins laitiers (sans restriction de taille de cheptel). La répartition du cheptel en fonction de la taille des troupeaux est détaillée dans la Figure 1. (GEB 2022).

Le cheptel ovin français se compose d'environ 7 millions d'ovins, dont 5,5 millions de brebis et agnelles mises à la reproduction, parmi lesquelles on dénombre 1,5 million de brebis et agnelles laitières. Ce cheptel laitier se concentre dans 5 régions principales : Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Corse, Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur. La répartition régionale du cheptel est explicitée dans la Figure 2 (GEB 2022). Plus précisément, 91% du cheptel ovin laitier se concentre dans six départements, qui sont par taille de cheptel décroissant l'Aveyron, les Pyrénées-Atlantiques, le Tarn, la Lozère et les départements corses. (IDELE 2023a)

Selon FranceAgriMer, la production de lait de brebis représente 296 millions de litres livrés pour la campagne 2021-2022, en baisse de 2,7% par rapport à la campagne précédente (et facilement expliquée par l'inflation sur les prix des aliments dans le contexte du conflit russo-ukrainien). Le prix moyen du lait de brebis au cours de cette campagne est de 1 056 €/1 000 L, en hausse de 2,3% (et justifiée par la revalorisation du prix de base standard et une hausse du taux butyreux (TB) moyen). (IDELE 2023a)

Le lait de brebis est principalement destiné à la production fromagère. En 2021, la production s'élève à 62 600 tonnes de fromages de brebis, parmi lesquels ont été produits 19 500 tonnes de Roquefort et 18 200 tonnes de fromages à pâtes pressées non cuites dont 5 000 tonnes d'Ossau Iraty (GEB 2022). Quatre appellations fromagères utilisant le lait de brebis sont aujourd'hui reconnues en France et associée à une aire géographique bien délimitée. Il s'agit des trois appellations d'origine protégée (AOP) : Roquefort, Ossau-Iraty, Brocciu ; et d'une indication géographique protégée (IGP) : Pérail.

1.1.2. Description des bassins Roquefort (ROQ) et Pyrénées-Atlantiques (PA)

1.1.2.1. Le bassin de production Roquefort

- **Cahier des charges de l'AOP Roquefort :**

Il définit les normes pour la fabrication de ce fromage persillé à pâte non pressée et non cuite issu du lait de brebis cru entier. L'aire géographique de production du lait et de fabrication des fromages se trouve principalement en Aveyron (12, France) et partiellement dans les départements voisins (Aude, Gard, Hérault, Lozère et Tarn). Les étapes de l'affinage jusqu'à

l'emballage sont quant à elles réalisées exclusivement dans la commune de Roquefort-sur-Soulzon (Aveyron – 12, France).

Concernant la production de lait, il est issu de troupeaux en race Lacaune (LAC) uniquement et pratiquant une traite biquotidienne. Le lait ne peut être livré qu'après une période minimale de 20 jours après l'agnelage (20 jours en lait). Le stockage en ferme ne doit pas excéder 24 heures (sauf zone de montagne, stockage possible jusqu'à 38 heures à 4°C, soumis à autorisation).

L'alimentation des brebis se compose majoritairement (> 75%) d'herbe, de fourrages et de céréales produits dans l'aire géographique précédemment décrite et principalement produits par l'exploitation. Les fourrages doivent être récoltés et conservés dans des conditions optimales. Les achats extérieurs sont limités à hauteur de 200 kilogrammes de matière sèche par brebis présentes à la mise-bas et par an. Lorsque les conditions sont favorables, le pâturage quotidien est obligatoire et ce dernier représente à minima 25% de la surface fourragère principale. En stabulation, la ration quotidienne doit inclure un minimum d'un kilogramme de foin par brebis. Par ailleurs, les bergeries doivent respecter les surfaces minimales : de 1,5 m² par couple brebis-agneau et 1,2 m² par brebis seule (*Arrêté du 17 janvier 2022*).

En réponse aux épisodes de sécheresse, la proportion minimale d'aliments provenant de l'aire géographique Roquefort a été réduite à un minima de 50% et les achats extérieurs augmentés jusqu'à 400 kilogrammes de matières sèche par brebis et par an du 01 septembre 2022 au 31 août 2023 (*Arrêté du 22 décembre 2022*).

- Caractéristiques du système d'élevage et résultats du contrôle laitier officiel :

Les élevages en race Lacaune du bassin Roquefort pratiquent principalement la bi-traite et l'âge à la première mise-bas se situe autour de 13 mois. Le suivi d'un échantillon de 177 élevages livreurs conventionnels de Nord-Occitanie dans le cadre du dispositif INOSYS-Réseaux d'élevage a permis d'approcher les performances en terme de reproduction et santé des agneaux, présentés sous la forme « moyenne [Q1-Q3] ». Les taux de mise-bas et de mise en traite sont de 95% [93-97]. Le taux de prolificité s'élève à 163% [150-176]. Le taux de renouvellement est de 31% [28-34] et le taux de mortalité des agneaux de 10% [7-12] (IDELE 2023b).

Le bassin Roquefort se caractérise par une période d'allaitement-traite moyenne de 25 jours (selon l'accord interprofessionnel (Interbev) les agneaux destinés à l'engraissement avant leur abattage doivent être sevrés à un âge minimal de 28 jours (*Arrêté du 9 avril 2021*)). Pour la campagne 2022, 379 troupeaux en race Lacaune ont été contrôlés (soit 176 914 résultats de

contrôles). La production laitière moyenne par brebis est de 346,1 +/- 106,1 L pour une durée de traite moyenne de 176 +/- 41 jours (IDELE 2023c).

1.1.2.2. Le bassin de production Pyrénées-Atlantiques

- Cahier des charges de l'AOP Ossau-Iraty :

Il définit les normes pour la fabrication de ce fromage à pâte pressée non cuite issu du lait de brebis cru entier. L'aire géographique de production du lait, de fabrication et de l'affinage des fromages se trouve principalement en Pyrénées-Atlantiques (64, France) auquel s'ajoute 3 communes limitrophes des Hautes-Pyrénées (65, France).

Le lait est issu de troupeaux en races Basco-béarnaise (BB), Manech tête noire (MTN) et rousse (MTR). Le lait ne peut être livré qu'après une période minimale de 20 jours après l'agnelage (20 jours en lait). La période de traite doit être inférieure à 265 jours par an et surtout, elle est interdite en septembre et en octobre. Par ailleurs, la production laitière moyenne par brebis au sein du troupeau ne peut excéder 300 litres et la moyenne du taux utile doit être supérieure à 110 grammes par litre.

L'alimentation des brebis est produite principalement dans l'aire géographique précédemment décrite. Les achats extérieurs sont limités à une moyenne de 280 kg de matière sèche par brebis par campagne. Pour chaque campagne, une période minimale de 240 jours de pâtures doit être observée. En stabulation, la ration quotidienne doit contenir un minimum de 600 grammes de matières sèches issues de l'aire géographique réglementée. Depuis le 1^{er} février 2018, l'apport d'ensilage en période de traite est interdit et l'utilisation d'enrubannage d'herbe limité à 1 kg de matière brute par brebis avec une matière sèche supérieure à 70%. (*Décret n° 2015-1225 du 2 octobre 2015*).

En réponse aux épisodes de sécheresse, les achats extérieurs ont été augmentés jusqu'à 410 kilogrammes de matières sèche par brebis et par an et la durée minimale de pâturage raccourcie à 204 jours du 01 novembre 2022 au 31 août 2023 (*Arrêté du 22 novembre 2022*).

- Caractéristiques du système d'élevage et résultats du contrôle laitier officiel :

Les élevages du bassin Pyrénées-Atlantiques pratiquent la bi-traite et l'âge à la première mise-bas peut être de 15 ou 24 mois. Le suivi d'un échantillon de 149 élevages livreurs conventionnels des Pyrénées-Atlantiques dans le cadre du dispositif INOSYS-Réseaux d'élevage a permis d'approcher les performances en terme de reproduction et santé des agneaux, présentés sous la forme « moyenne [Q1-Q3] ».

Race	Troupeaux	Nombre résultats	Production lait (L)	Durée de traite (jours)
BB	99	24 598	222,3 +/- 85,1	150 +/- 48
MTN	66	7 294	183,2 +/- 75,4	151 +/- 45
MTR	231	65 497	244,6 +/- 91,8	165 +/- 47

Tableau 1 – Production laitière et durée de traite des 3 races de brebis laitières du bassin Pyrénées-Atlantiques
Adapté de (Résultats de contrôle laitier - France 2022 2023)

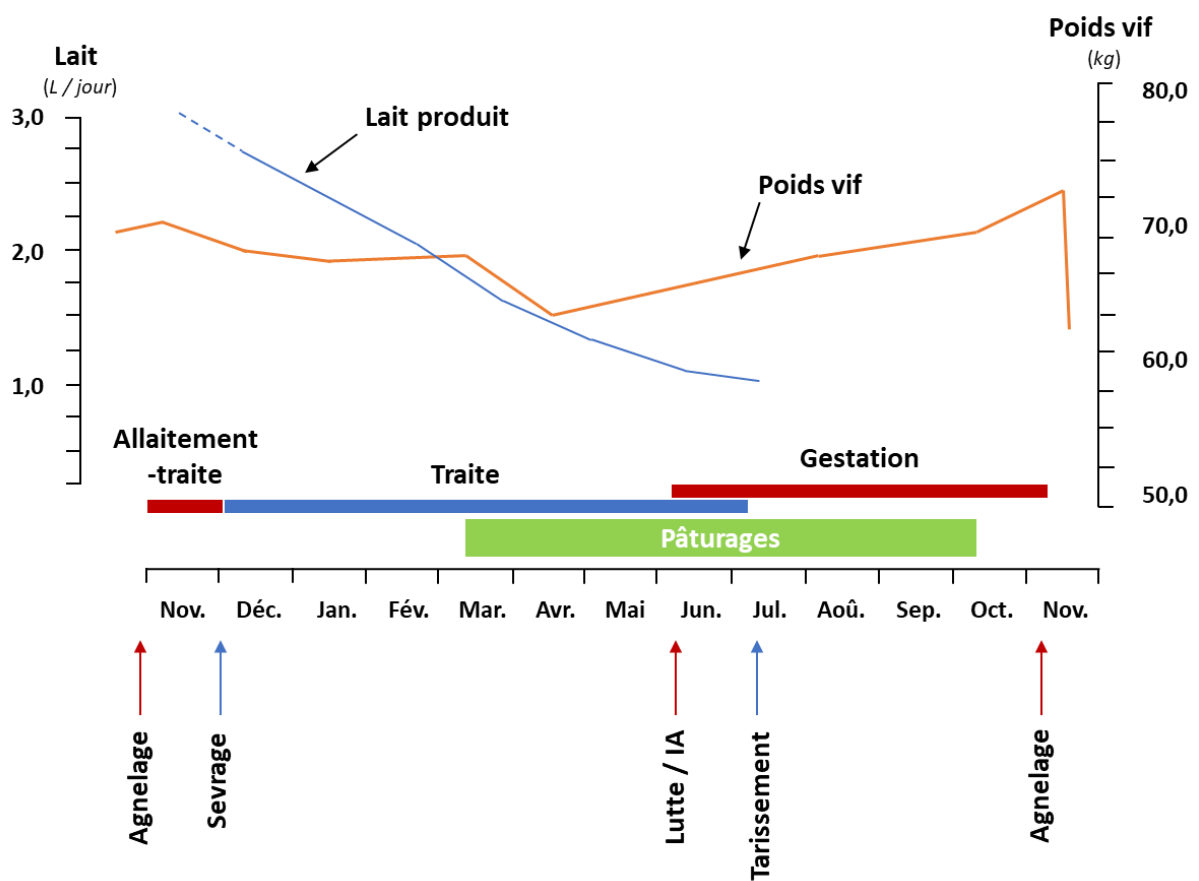


Figure 3 – Représentation simplifiée du principal système de production en brebis laitières Lacaune
Adaptée de (Institut national de la recherche agronomique 2018)

Le taux de mise-bas est de 83% [77-90] et le taux de mise en traite est de 94% [92-96]. Le taux de prolificité atteint les 111% [100-121]. Le taux de renouvellement est de 21% [19-24] et le taux de mortalité des agneaux de 10% [6-14] (IDELE 2023b).

Le bassin Pyrénées-Atlantiques se caractérise par une période d'allaitement-traite moyenne de 35 jours. Pour la campagne 2022, 323 troupeaux (soit 97 362 résultats) ont été contrôlés dans le département. La production laitière moyenne par brebis est de 234,3 L pour une durée de traite moyenne de 160 jours. Le détail par race est présenté dans le Tableau 1 (IDELE 2023c).

I.2. Lactation des brebis : caractéristiques physiologiques et conséquences technico-économiques

I.2.1. Chronologie du cycle de production

La Figure 3 propose une illustration simplifiée du cycle de production dominant dans le Rayon de Roquefort. Néanmoins, ce dernier peut facilement être transposé au bassin des Pyrénées-Atlantiques, les principales différences ayant trait au niveau de production journalier (plus faible pour les races Pyrénéennes), à la variabilité de l'âge à la mise à la reproduction (7-8 mois dans le bassin Roquefort et jusqu'à 18-19 mois pour le bassin Pyrénées-Atlantiques), à la pratique de la transhumance dans les Pyrénées et un recours au pâturage plus long.

La période de mise à la reproduction est centrée sur l'été et largement dominée par la pratique de l'insémination artificielle (IA), surtout dans le Rayon de Roquefort. Ainsi les agnelages sont groupés et débutent autour du mois d'octobre (novembre dans les Pyrénées-Atlantiques). Cette saison d'agnelage est associée à une conduite du troupeau en bergerie (exclusive en rayon Roquefort, avec accès aux pâturages dans les Pyrénées-Atlantiques).

La particularité du système ovin laitier (par comparaison à la conduite des cheptels bovins laitiers) repose sur la pratique d'une période dite d'allaitement-traite et qui correspond au 20 à 35 premiers jours de lactation (seuls les élevages hors AOP sont autorisés à livrer ou transformer le lait plus précocement). Une fois les agneaux sevrés, la période de traite exclusive débute et se prolonge jusqu'à la saison de reproduction suivante. La durée de traite est variable selon le bassin entre 160 (PA) et 176 (ROQ) jours. Etant relativement courte, l'enjeu de production repose sur la persistance laitière (Institut national de la recherche agronomique 2018).

$$mPL_{JLi} = mPL_{JL1} \times e^{-b(JLi - JL1)}$$

mPL_{JLi} : production laitière moyenne du troupeau en L / jour, avec :

JLi : $i^{\text{ème}}$ jour de lactation

$JL1$: 1^{er} contrôle laitier (après sevrage des agneaux)

b : coefficient de persistance tel que :

$b = [0,329 + 2,224 \times \ln(PL_{JL1})] \times 10^{-3}$ pour les brebis primipares Lacaune

$b = [2,314 + 1,626 \times \ln(PL_{JL1})] \times 10^{-3}$ pour les brebis multipares Lacaune

$b = [5,5 + 5,3 \times \ln(PL_{JL1})] \times 10^{-3}$ pour les brebis primipares Pyrénéenne

$b = [6,2 + 4,6 \times \ln(PL_{JL1})] \times 10^{-3}$ pour les brebis multipares Pyrénéenne

Équation 1 – Production laitière moyenne selon (Institut national de la recherche agronomique 2018)

$$CV_{JLi} = CV_{JL1} + c \times (JL - JL1)$$

CV_{JLi} : coefficient de variation de la production laitière en pourcentage, avec :

JLi : $i^{\text{ème}}$ jour de lactation

$JL1$: 1^{er} contrôle laitier (après sevrage des agneaux)

c : coefficient d'ajustement par race tel que :

$c = 0,0548$ pour la brebis Lacaune

$c = 0,0395$ pour les brebis Manech et Basco-Béarnaise

Équation 2 – Coefficient de variation de la production laitière selon (Institut national de la recherche agronomique 2018)

Publication	Pays	Race étudiée	Stade moyen du pic de lactation
Ricordeau, Denamur, Petrequin (1962)	France	Préalpes du Sud ¹ $n_{\text{traite}} = 126$ $n_{\text{allaitement-traite}} = 84$	25 jours (traite seule) 17 jours (allaitement-traite) <u>Remarque</u> : n'excède pas 50 jours.
Louca (1972)	Chypre	Cyprus fat-tailed ² et Chios ³ $n_{\text{tot}} = 72$	2 semaines
Lawlor, Louca, Mavrogenis (1974)	Chypre	Awassi ² , Cyprus fat-tailed ² et Chios ³ $n_{\text{tot}} = 108$ (36 / race)	2-4 semaines
Bocquier et al. (1999)	France	Lacaune ³ $n_{\text{tot}} = 50$	Avant 30 jours
McKusick, Thomas, Berger (2001)	Etats-Unis (Wisconsin)	East Friesian ³ $n_{\text{traite}} = 31$	Avant 4 semaines <u>Remarque</u> : lait tété par agneaux non mesuré pour autres groupes, donc pic non connu.

Tableau 2 – Synthèse des stades au pic de lactation recensés dans la littérature selon la race

1 = race allaitante ; 2 = race mixte ; 3 = race laitière

1.2.2. Caractéristiques de la lactation des brebis laitières

1.2.2.1. Production laitière moyenne : équation de prédiction et variabilité raciale

Un ensemble d'équation permettant la prédiction de la production laitière moyenne d'un lot de brebis et du coefficient de variation associé ont été proposées par l'Institut National de la Recherche Agronomique (2018) (INRAE) et sont décrites dans l'Équation 1 et l'Équation 2.

Ces dernières dépendent de la production au premier contrôle laitier, du jour en lait (à l'instant et celui au premier contrôle) et d'un paramètre d'ajustement racial pour les 4 races principales : Lacaune, Pyrénéennes (Manech et Basco-béarnaise) et Corse.

Au-delà de la prédiction des productions laitières, ces équations sont utilisées pour l'estimation des besoins énergétiques et protéiques et pour la mise en place des stratégies alimentaires.

1.2.2.2. Courbe de lactation

- Période d'allaitement-traite : la consommation d'une partie de la production laitière par les agneaux et l'absence de contrôle laitier associé à cette période expliquent qu'elle soit plus rarement caractérisée. Cependant, Ricordeau, et al. (1962), Louca (1972), Lawlor, et al. (1974), Bocquier et al. (1999), McKusick, et al. (2001) s'y sont intéressés afin de préciser les caractéristiques des premières semaines de lactation. Tous ces auteurs ont à la fois considéré la quantité de lait consommé par les agneaux et celle provenant de la traite. Ils observent tous une phase ascendante jusqu'à atteindre un pic qui intervient plus ou moins précocement dans les 4 premières semaines (les stades sont détaillés dans le Tableau 2).

- Sevrage : il intervient autour du pic de lactation entre 25 et 35 jours. Il est commun d'observer une chute importante de la production laitière suivie d'une hausse dans les jours suivants (mimant un second pic de lactation). Trois études se sont intéressées à ce phénomène chez les brebis Préalpes du Sud. Labussière et al. (1969) rapportent une chute entre 36,6% et 38,7% au premier jour de traite et Labussière et al. (1974) une chute autour de 30%. Ricordeau, et al. (1962) estiment cette chute entre 27% (1 agneau allaité) et 34% (2 agneaux allaités) pour les brebis soumises à un sevrage brutal et observent la même tendance pour les brebis soumises à un sevrage progressif. Des résultats similaires ont été obtenus par Bocquier et al. (1999) chez la brebis Lacaune, avec une chute entre 19% (1 agneau allaité) et 46% (2 agneaux allaités). Cette chute s'explique d'une part par le stress provoqué par le sevrage (Ricordeau, et al. 1962)

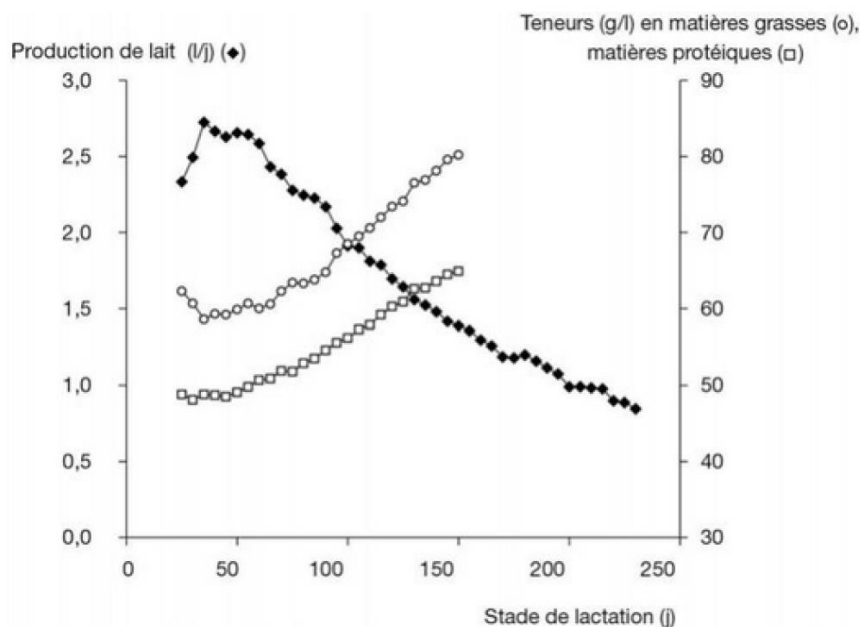


Figure 4 – Production laitière et taux utiles du lait des brebis Lacaune au cours de la période de traite exclusive à partir des données du contrôle laitier officiel 2016
Produite par (Institut national de la recherche agronomique 2018)

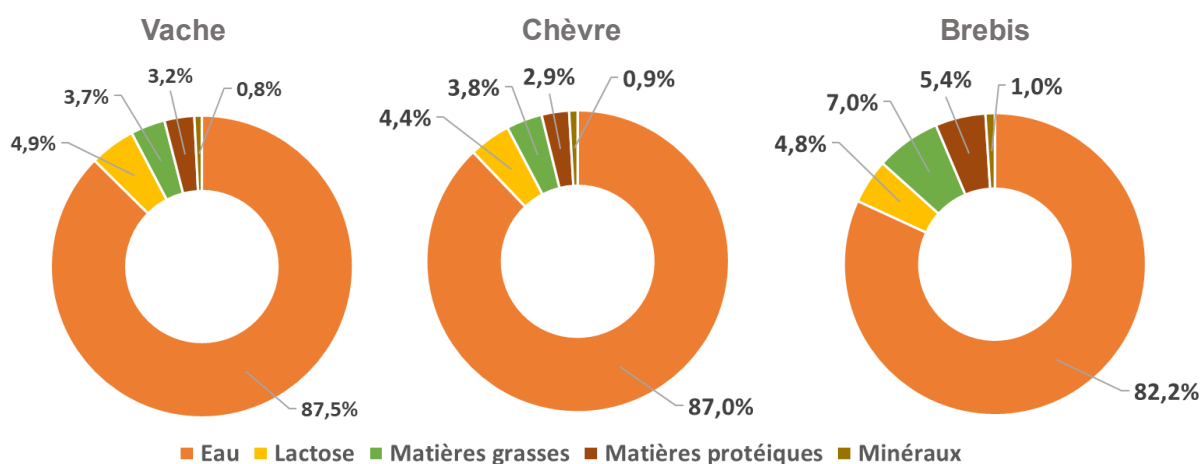


Figure 5 – Composition comparée des laits de vache, chèvre et brebis – Adapté de (Martin et al. 2014)

Eléments du lait (%)	Moyenne	Minimum	Maximum	Etendue	Publications
Solides totaux	18,10	14,40	20,70	6,30	n = 36
Matière grasse	6,82	3,60	9,97	6,37	n = 68
Protéines	5,59	4,75	7,20	2,45	n = 67
Lactose	4,88	4,11	5,51	1,4	n = 30

Tableau 3 – Composition moyenne du lait de brebis – Adapté de (Raynal-Ljutovac et al. 2008)
Ces valeurs sont issues d'une compilation des données de 86 publications par Paccard et Lagriffoul.

mais aussi par la disparition temporaire du réflexe neuroendocrinien d'éjection du lait (Labussière et al. 1969) et d'autre part la diminution de la fréquence de stimulation de la mamelle en passant au rythme de traite exclusive, Labussière et al. (1974) ayant montré que la production laitière est d'autant plus importante que les têtées sont nombreuses.

- Période de traite exclusive : La Figure 4 présente la courbe de lactation pour la race Lacaune ainsi que l'évolution des taux utiles sur la première moitié de la lactation en se basant sur les données du contrôle laitier officiel 2016. Concernant la production, on observe le « pic » rebond suite au sevrage sur les premiers jours, puis la phase de décroissance communément observée. Le premier contrôle laitier a lieu entre 50 et 60 jours post-partum en moyenne, ce dernier intervient donc systématiquement alors que la phase de décroissance a débuté.

1.2.2.3. *Composition du lait de brebis*

Pendant longtemps, les schémas de sélection ovins laitiers ont privilégié la production laitière. Mais, depuis les années 1990, la composition du lait est entrée dans les critères de sélection.

A l'instar des laits de vache ou de chèvre, le lait de brebis se compose majoritairement d'eau comme le montre la Figure 5. On distingue ensuite trois composés majeurs qui par teneur décroissante sont la matière grasse, les protéines et le lactose ; et de nombreux autres constituants tels que les minéraux et vitamines. Le lait de brebis se distingue des laits de vache et de chèvre car son taux utile est quasiment doublé (Martin et al. 2014). L'application directe est la haute fromageabilité du lait de brebis pour lequel en moyenne 6 litres de lait suffisent pour la production d'un kilogramme de fromage contre 10 litres/kg pour le lait de vache (Wendorff, Haenlein 2017).

- Matières grasses : il s'agit essentiellement de triglycérides, auxquels s'ajoutent en faible quantité les mono- et diglycérides, le cholestérol, les phospholipides et les stérols. Ces matières grasses forment des globules de gras en émulsion dans le lait dont la membrane est une association de protéines et de phospholipides complexes. Le diamètre moyen de ces globules est de 4,5 μm , inférieur à celui observé chez la vache (Wendorff, Haenlein 2017).

Le lait de brebis contient respectivement 70 et 90% de matière grasse en plus par rapport aux laits de vache et de chèvre. Il se distingue aussi par son profil en acides gras (AG), détaillé dans le Tableau 4, avec une proportion supérieure au lait de vache d'acides gras à courte et

	<i>(Martin et al. 2014)</i>		<i>(Gelé et al. 2014)</i>		<i>(Wendorff, Haenlein 2017)</i>		
	Moyennes ¹ Médiannes ²		Moyennes ³		Moyennes ⁴		
	% AG totaux		% AG totaux		g/L	% MG	
	Vache	Chèvre	Brebis				
			-	LAC	MTR	-	-
AG saturés ^{3**}	67,5	71,8	68	74,2 +/- 4,1	73,0 +/- 3,8	46	-
Butyrique (C4:0) ^{3**}	3,5	2,5	3,7	3,08 +/- 0,4	3,03 +/- 0,5	2	3,0-5,8
Caproïque (C6:0) ^{3**}	2,2	2,6	2,8	2,72 +/- 0,4	2,58 +/- 0,4	1,4	2,1-4,0
Caprylique (C8:0) ^{3**}	1,3	3,2	2,5	2,09 +/- 0,5	2,02 +/- 0,4	1,4	1,5-3,6
Caprique (C10:0) ^{3*}	3	10,5	7,4	8,38 +/- 1,7	7,26 +/- 1,7	4	5,0-9,0
Laurique (C12:0) ^{3*}	3,6	5	4,6	6,26 +/- 1,2	5,28 +/- 1,2	2,4	2,9-5,2
Myristique (C14:0) ^{3*}	11,8	11	11	15,3 +/- 1,8	14,6 +/- 1,6	6,6	7,0-13,4
Pentadécylique (C15:0)	1,3	-	1,1	-	-	-	0,6-1,5
Palmitique (C16:0) ^{3*}	29,2	23,4	24,1	24,9 +/- 3,0	26,0 +/- 2,7	16,2	20,0-28,5
Stéarique (C18:0)	9,4	9,6	8,8	-	-	9	6,2-13,1
AG monoinsaturés ^{3**}	24,2	22,9	24	19,3 +/- 3,7	20,0 +/- 3,7	17,2	-
Myréolistique (C14:1 c9)	0,97	0,23	0,25	-	-	-	0,4-1,0
Palmitoléique (C16:1 c9)	1,5	-	1,2	-	-	1,3	1,0-2,8
Totaux (C18:1) ^{3**}	-	-	-	16,7 +/- 3,7	18,0 +/- 3,7	15,6	16,6-27,7
Oléique (C18:1 cis9) ^{3*}	19,3	18,2	16,9	12,8 +/- 3,3	13,5 +/- 3,6	-	-
(C18:1 t11)	1,7	1,1	2,8	-	-	-	-
AG polyinsaturés ^{3**}	3	4,2	6	4,4 +/- 0,7	3,9 +/- 0,5	3,1	-
Linoléique (C18:2 c9,12, n-6)	1,4	2,3	2,4	-	-	1,8	2,8-4,3
Ruménique (C18:2 c9t11, CLA)	0,88	0,5	1,21	-	-	-	-
α -linoléique (C18:3 c9,12,15, n-3)	0,66	0,82	0,95	-	-	1,3	0,6-2,0

Tableau 4 – Profil en acides gras de la matière grasse des laits de vache, chèvre et brebis

¹Moyennes obtenues par synthèse de 4 références. ²Valeurs médianes issues des travaux préliminaires du projet PHENOFINLAIT (2010). ³Moyennes obtenues dans le cadre du programme PHENOFINLAIT : laits de 33 600 brebis Lacaune (LAC - Roquefort) et Manech tête rousse (MTR – Pyrénées-Atlantiques) prélevés entre décembre 2009 et juillet 2010 et analysés en spectrométrie moyen infrarouge. ^{3*} Composants estimés avec une bonne précision ($R^2 > 0,82$ et $5\% < s_{y,x}$ relatif $< 10\%$). ^{3**} Composants estimés avec une très bonne précision ($R^2 > 0,91$ et $s_{y,x}$ relatif $< 5\%$). ⁴Moyennes obtenues par synthèse de 3 références.

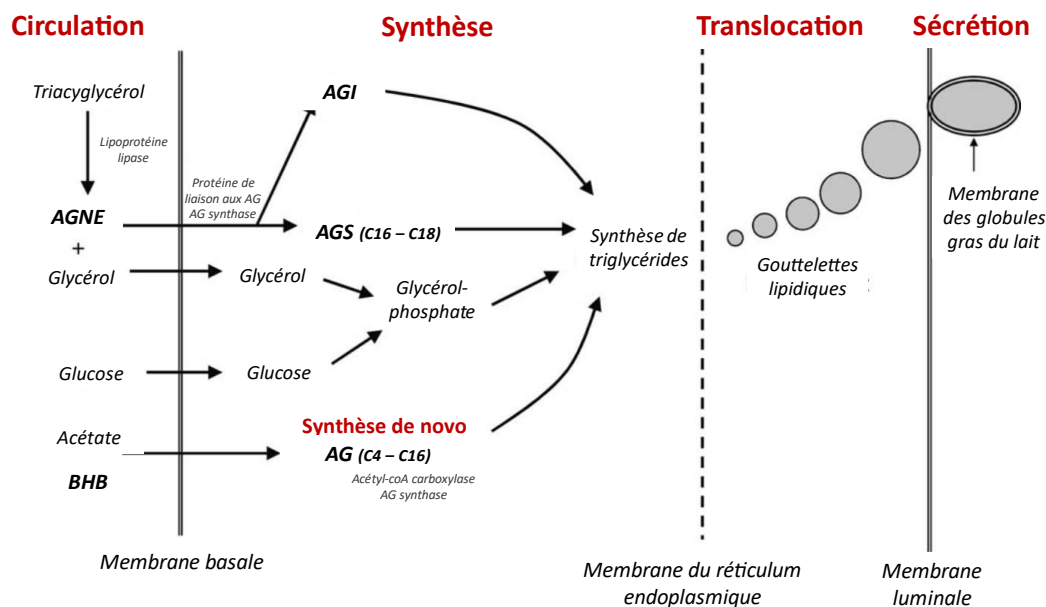


Figure 6 – Double origine des acides gras du lait – Adaptée de (Bauman, McGuire, Harvatine 2011)

moyenne chaîne (entre 6 et 14 carbones) et d'acides mono- et poly-insaturés (Wendorff, Haenlein 2017).

Les AG du lait de brebis sont composés d'environ 70% d'acides gras saturés (AGS), dont le principal est l'acide palmitique (environ 25%) ; puis de 20 à 25% d'acide gras monoinsaturés (AGMI) et 4 à 6% d'acide gras polyinsaturés (AGPI) (Martin et al. 2014; Gelé et al. 2014; Wendorff, Haenlein 2017).

L'origine des AG du lait est double (Figure 6), avec d'une part une synthèse mammaire *de novo* représentant entre 45 et 60% des AG totaux du lait et générant des acides entre 4 et 16 carbones et d'autre part la capture d'acides gras non estérifiés (AGNE) à longue chaîne depuis la circulation sanguine en provenance du tube digestif ou de la mobilisation des réserves graisseuses. La synthèse *de novo* utilise majoritairement l'acétate (C2 – issu de la fermentation ruminale des carbohydrates) et en faible proportion le bêta-hydroxybutyrate (BHB) (C4 – issu de la conversion par la paroi du rumen et le foie de l'acide butyrique produit par fermentation ruminale) comme source de carbone (contrairement aux monogastriques, qui eux, utilisent le glucose) (Bauman, McGuire, Harvatine 2011).

- Protéines : 80% des protéines sont des caséines (de 4 types, dans l'ordre décroissant de concentration : β , α_1 , α_2 et κ), unique protéine coagulable dans le lait. Les autres sont les protéines sériques dont les principales sont l' α -lactalbumine et la β -lactoglobuline, puis on trouve les immunoglobulines, l'albumine sérique, les lactoferrines et d'autres protéines mineures. Par ailleurs, entre 5 et 7% de l'azote total du lait est d'origine non-protéique et majoritairement constitué d'urée (45%) et d'acides aminés (16%). Les autres composants azotés non protéiques sont la créatine, la créatinine, l'ammonium et divers acides (Wendorff, Haenlein 2017).

- Lactose : il représente environ 50% des carbohydrates du lait de brebis (Raynal-Ljutovac et al. 2008). Il s'agit d'un disaccharide (glucose et galactose) synthétisé dans la mamelle à partir du glucose sanguin. De faibles quantités d'oligosaccharides, glycopeptides et glycoprotéines sont également présentes dans le lait de brebis (Wendorff, Haenlein 2017).

1.2.2.4. *Facteurs de variation qualitative et quantitative de la production laitière*

De nombreux facteurs peuvent influencer la composition du lait. Par conséquent, on observe dans le Tableau 3 (*page 24*) une certaine variabilité dans la composition du lait selon les études considérées par Raynal-Ljutovac et al. (2008) avec des étendues entre 1,4% (lactose)

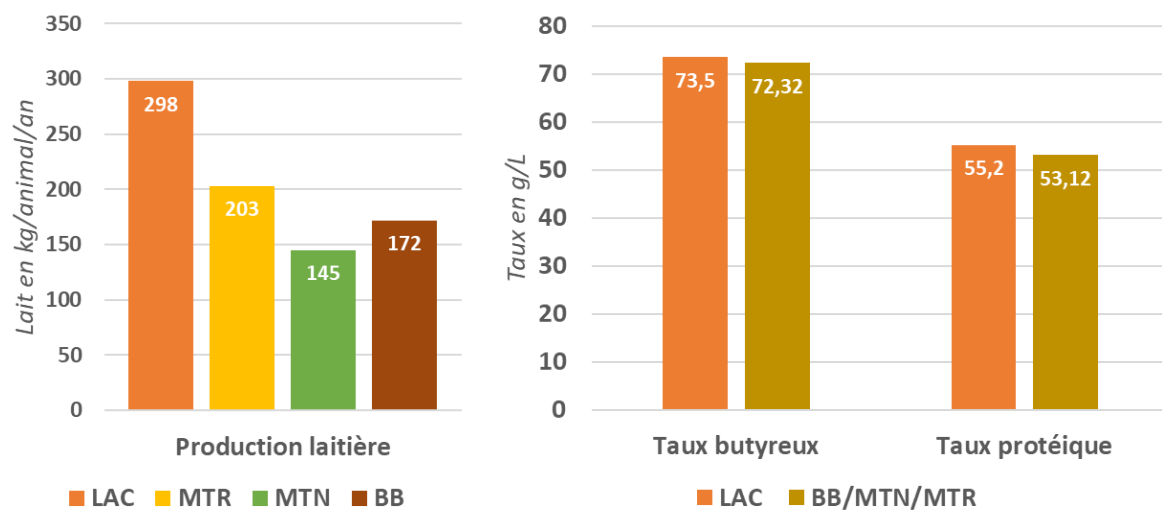


Figure 7 – Production laitière, taux butyreux et protéique des races Lacaune, Basco-Béarnaise, Manech Tête Rousse et Noire
 Adapté de (Martin et al. 2014) à partir des données du contrôle laitier officiel sur lait de mélange
 de l'Institut de l'Élevage et France Conseil élevage 2012

et 6,37% (matières grasses) pour les principaux constituants du lait. Les facteurs de variation se divisent en deux catégories : facteurs inhérents à l'animal et facteurs liés à la conduite du troupeau.

- Caractéristiques de l'animal :

- Espèces : nous avons déjà détaillé précédemment les différences selon l'espèce (par comparaison du lait de brebis au lait de vache et de chèvre).

- Races : Ferro, Tedeschi, Atzori (2017) se sont intéressés à la production laitière et la composition du lait de 13 races de brebis (n= 65 publications). Les résultats obtenus montrent une variabilité interraciales concernant la production totale moyenne de lait sur une lactation avec une supériorité de la brebis Lacaune sur les races Comisana, Dorset, Fat-tailed, Karagouniki et Sarda ($p < 0,05$) et concernant la production journalière moyenne avec notamment la supériorité de la brebis Lacaune sur les races Comisana et Tsigai ($p < 0,05$).

En revanche, aucune différence significative n'est mise en évidence entre les 13 races étudiées concernant la composition moyenne en solides totaux, matières grasses et protéiques et lactose. Toutefois, parmi les 65 publications analysées, certaines ont souligné quelques différences de composition du lait selon la race.

Les grandes tendances soulignées sont en accord avec les résultats de contrôle laitier officiel par race et/ou bassin présenté dans la Figure 7 : on observe une importante variabilité interraciales pour la production laitière avec une prédominance de la race Lacaune sur les races Pyrénéennes. Les taux butyreux (TB) et protéiques (TP) sont similaires (Martin et al. 2014).

Si on s'intéresse plus particulièrement aux résultats obtenus par (Gelé et al. (2014) qui ont distingué les races Lacaune (LAC) et Manech tête rousse (MTR), les résultats obtenus sont les suivants : la production journalière est respectivement de 1,73L et 1,35L pour les brebis Lacaune et les brebis Manech tête rousse. Le lait de la race Lacaune est plus riche (TB : 75,0 g/L contre 69,9 g/L et TP : 55,7 g/L contre 51,6 g/L) que celui des races Manech. Cette différence peut être attribuée aux différences temporelles dans les schémas de sélection vis-à-vis de la richesse du lait dans ces deux races. Concernant le profil en acides gras et le profil protéique, déterminés par spectrométrie en moyenne infrarouge, la race Manech présente des concentrations supérieures en C16:0 et inférieures en C14:0 par comparaison au lait de brebis Lacaune et des teneurs plus élevées en caséines. Toutefois, il est important de rappeler qu'au-delà de leur race les brebis du rayon Roquefort et des Pyrénées-Atlantiques diffèrent également par les conduites d'élevage au sein de ces deux bassins de production et que ces effets peuvent

être confondus comme le mentionnent Esvan et al. (2010) pour les races bovines et caprines, mais aussi Bocquier, Caja (2001) pour les races ovines.

○ Stade de lactation, rang de lactation et âge au premier agnelage :

La composition du lait n'est pas stable tout au long de la lactation. Les teneurs en protéines et matières grasses sont les plus faibles en allaitement-traite (Bocquier, Caja 2001). Comme le montre la Figure 4 (page 32) les taux utiles augmentent progressivement et évoluent à contre-courant avec la production laitière, signe d'un effet concentration du lait au cours de la lactation (Institut national de la recherche agronomique 2018). Selon la nature du régime alimentaire chez les brebis Lacaune, la production laitière diminue de 0,2 à 0,4 kg/mois, tandis que le taux butyreux augmente de 13 à 15 g/kg et le taux protéique de 12 à 14 g/kg sur les cinq premiers mois de traite (Legarto et al. 2014).

Le profil en acide gras ne fait pas exception : au cours des trois premiers mois de traite-exclusive, la proportion d'acide gras saturés augmente (jusqu'à +2,5 % chez la brebis Lacaune) puis décroît en fin de lactation, tandis que les acides gras insaturés suivent la tendance inverse (avec une chute de 1,6% suivie d'une hausse de 1,1% chez la brebis Lacaune). Des évolutions semblables sont observées chez les brebis Manech Tête Rousse (Legarto et al. 2014). Cette évolution traduit les adaptations physiologiques des brebis : en période d'allaitement-traite (début de lactation) l'exportation des réserves corporelles est importante, favorisant la production d'acides gras insaturés dans la mamelle à partir des AGNE sanguins (Esvan et al. 2010). Les tendances observées chez les ovins sont similaires à celles évoquées par Rodríguez-Bermúdez et al. (2023) chez la vache laitière : fraîche-vêlée, les teneurs en acides gras saturés (inférieurs à 18 carbones) sont minimales (d'autant plus chez les vaches en cétose), tandis que les teneurs en acide gras monoinsaturés et C18:0 augmentent.

Chez la vache laitière, les teneurs en acides gras saturés et notamment ceux à courte chaîne sont plus élevées chez les multipares par comparaison aux primipares (Rodríguez-Bermúdez et al. 2023). Le rang de lactation et l'âge au premier agnelage influent eux aussi sur le profil en acides gras avec des différences significatives entre des primipares d'un an, des primipares de deux ans et des brebis en seconde lactation : les proportions en acides gras saturés évoluent de manière croissante au sein de ces trois groupes, tandis que les AGPI restent relativement stables d'une lactation sur l'autre (Esvan et al. 2010; Legarto et al. 2014).

Gelé et al. (2014) soulignent à juste titre des différences entre les profils d'acide gras obtenus dans le cadre du programme PHENOFINLAIT et ceux de la littérature précédente avec des laits plus riches en acides gras saturés (et particulièrement en C16:0 et C14:0). De la même

manière, les teneurs en caséines obtenues sont plus faibles mais le TP supérieur pour la race Lacaune par comparaison aux résultats précédents. Une explication réside dans les critères de sélection des brebis intégrées au programme : première ou deuxième lactation, traite du matin, majorité des collectes en bergerie par opposition aux précédentes études utilisant des laits de mélange sur l'entièreté de la lactation. Nous soulignons ici que la sélection des brebis dans le cadre du programme PHENOFINLAIT est relativement proche des critères d'inclusion des brebis dans notre étude.

- Conduite du troupeau :

- Saison de mise-bas : Le taux protéique semble être influencé négativement par le temps passé en bergerie avant l'agnelage. La comparaison des taux protéiques de brebis ayant subi une préparation à l'agnelage courte (inférieure à 30 jours) ou longue (supérieure à 50 jours) conduit à l'obtention de taux protéiques significativement plus faibles pour les délais longs. Ces observations sont proposées par Legarto et al. (2014) comme étant des résultats préliminaires qui mériteraient de plus amples explorations.

- Génétique : Boichard et al. (2014) ont identifié de nombreux QTL (Quantitative Trait Loci) associés aux profils en acides gras et protéines du lait, dont les seuils de significativité sont variables, mais pour certains très élevés. Parmi ces QTL principaux, certains sont partagés par deux ou trois espèces de ruminants. Les QTL identifiés ont tendance à être colocalisés, et correspondent fréquemment à des gènes précédemment identifiés comme ayant des effets sur les taux protéiques et butyreux. Par ailleurs, les caractères de la composition du lait sont souvent corrélés : à titre d'exemple les teneurs en acides gras saturés sont fortement corrélées positivement au taux butyreux, tandis que les acides gras insaturés y sont modérément corrélés négativement. Bobbo, et al. (2020) ont mis en évidence des corrélations génétiques négatives d'intensité modérée entre la teneur en acides gras et la production laitière. A l'inverse, la teneur en acide gras semble être modérément à fortement corrélée aux taux protéique (et à la teneur en caséine) et butyreux.

Sánchez et al. (2010) se sont intéressés à la détermination génétique de la composition en acide gras du lait chez 976 brebis de race Churra, en s'intéressant d'une part aux teneurs individuelles et aux fractions des différents groupes d'acide gras. Les acides gras saturés sont tous, individuellement, influencés par une variance génétique additive associée à de faibles héritabilités (contrairement aux tendances évoquées précédemment chez les bovins). Néanmoins la valence génétique est l'un des facteurs déterminant de la variation individuelle observée pour cette catégorie. Les résultats obtenus pour les autres acides gras montrent dans

l'ensemble de faibles variances génétiques additives associées à de faibles héritabilités de la composition du lait en acide gras. Cesarani et al. (2019) ont montré que l'héritabilité de la composition en acides gras du lait était extrêmement variable selon la méthode d'évaluation utilisée et l'acide gras concerné, avec des héritabilités faibles à modérées, mais avec une tendance à obtenir des héritabilités plus fortes lorsqu'il s'agit des acides gras issus de la synthèse mammaire *de novo*.

En s'intéressant aux héritabilités des composants du lait, il apparaît rapidement que les teneurs en protéines et en acides gras saturés ont un déterminisme génétique important. Ces éléments ont des conséquences non négligeables en terme de prédiction génomique des performances des brebis (Boichard et al. 2014).

- Alimentation : L'alimentation a des influences à la fois quantitative et qualitative sur la production de lait.

La précocité et l'importance du pic de lactation sont proportionnelles aux apports énergétiques en début de lactation. Le bilan énergétique des brebis a un effet très important sur le taux butyreux qui lui est corrélé négativement. En revanche, le taux protéique est moins sensible aux effets alimentaires, bien qu'il soit positivement corrélé au bilan énergétique.

La teneur en matière azotée totale (MAT) de la ration influence faiblement le taux protéique. En revanche, elle augmente sensiblement la fraction azotée non protéique du lait, par la hausse des concentrations en urée. En début de lactation, une hausse de la MAT entre 14 et 19% induit une hausse de la production laitière (pouvant expliquer en partie l'absence d'effet visible sur le taux protéique par dilution).

Concernant les composants de la ration, l'utilisation de très forte proportion de concentrés implique une diminution des taux protéiques et butyreux, avec un effet supérieur sur ce dernier. L'utilisation de savons calciques d'acides gras à longue chaîne est associée à une augmentation du taux butyreux, fréquemment associée à la diminution du taux protéique. Par ailleurs, le profil en acide gras du lait varie selon la composition du savon calcique utilisé. Enfin, l'utilisation d'oléagineux diminue la quantité ingérée sans modifier ni la production laitière ni le taux protéique, mais provoque une augmentation du taux butyreux (Bocquier, Caja 2001). Hervás et al. (2021) ont étudié l'effet d'une supplémentation en lipides de saturation variable (acide palmitique purifié, huile d'olive et huile de soja) sur la composition en acides gras du lait des brebis. Les teneurs en acides gras totaux étaient significativement ($p < 0,001$)

supérieures au contrôle quelle que soit la source de lipides utilisée et les profils en acides gras différents du contrôle avec des teneurs (mmol/jour) plus élevées en C16 :0 lors d'incorporation d'acide palmitique purifié ou des teneurs majorées en acides gras de plus de 16 carbones lors de l'utilisation d'huile de soja.

Legarto et al. (2014) se sont intéressés à l'effet des régimes alimentaires au sein des bassins Roquefort et Pyrénées-Atlantiques sur la composition fine du lait.

Dans le Rayon de Roquefort, la comparaison porte sur cinq régimes dits « hivernaux, en bergerie » et deux régimes de pâturage, avec pour régime de référence l'utilisation d'ensilage d'herbe (+/- 50%), de foin séché au sol (20-25%), d'aliment déshydraté (5-10%) et de concentrés (15-20%). Dans le bassin des Pyrénées-Atlantiques, la comparaison porte sur quatre régimes dits « hivernaux, en bergerie » mais – contrairement au Rayon de Roquefort – pouvant être associé à du pâturage et deux régimes de pâturage dominant, avec pour régime de référence l'utilisation de foin séché au sol (55-60%), d'aliment complet (10-15%) d'aliment déshydraté (5-10%) et de concentrés (20-30%).

L'utilisation d'ensilage de maïs est associée à la production laitière la plus élevée (+ 0,3 à 0,4 kg/jour) mais une dégradation du taux protéique (- 1,7 à 3,7 g/kg) chez les brebis Lacaune. Le taux butyreux est maintenu, mais le profil en acide gras modifié avec une hausse de 1,5% (Manech Tête Rousse) à 1,9% (Lacaune) des teneurs en acides gras saturés. L'utilisation d'un foin ventilé permet quant à lui l'obtention des taux utiles les plus élevés dans le Rayon de Roquefort. La pratique du pâturage induit une diminution des acides gras saturés comprise entre 0,5-1% (Manech Tête Rousse) et 1,3-1,6% (Lacaune), compensée par une hausse des acides gras mono- et polyinsaturés (Legarto et al. 2014). Ces résultats concordent avec ceux précédemment avancés par Esvan et al. (2010), qui proposait que l'accès au pâturage (et la durée croissante de ce dernier) se traduit dans le lait de brebis par une augmentation de la teneur en acides gras insaturés totaux C18:1. De manière semblable, Rodríguez-Bermúdez et al. (2023) ont trouvé des concentrations en acides gras saturés majorées chez les vaches recevant une ration complète contenant de l'ensilage de maïs et des concentrations augmentées en acides gras poly-insaturés et C18:0 pour les vaches au pâturage.

- Conduite de la traite : Hassoun et al. (2016) se sont intéressés aux conséquences de la pratique de la monotraite quotidienne en race Lacaune au sein des troupeaux de la station expérimentale de La Fage et de l'EPLEFPA La Cazotte, pendant 5 ans.

La monotraite est associée à des pertes de production laitière de 6 à 20% (primipares) et 8 à 17% (multipares). Ces résultats sont en accord avec les conclusions de Labussière et al. (1974) qui avait montré des productions inférieures chez les brebis Préalpes du Sud en monotraite.

Hassoun et al. (2016) ont montré que lors de la transition entre bi-traite et monotraite, la perte instantanée est supérieure chez les primipares (22%) par comparaison aux multipares. Toutefois les primipares bénéficient d'une bonne compensation puisque les pertes sur l'ensemble de la lactation sont comparables quelle que soit la parité. Par ailleurs, la pratique de la monotraite n'impacte pas la carrière ultérieure des brebis qui, en revenant à un rythme de bi-traite, ne souffrent pas de modification de leur production laitière.

Les influences sur les taux protéiques et butyreux sont variables selon l'élevage considéré : taux protéique en hausse quelle que soit la parité et taux butyreux en baisse pour les primipares uniquement pour la station expérimentale de La Fage ; aucun effet observé pour le troupeau de La Cazotte.

La composition en matière grasse a été peu modifiée par la monotraite et les légères variations dépendent des modalités d'expression des teneurs. Le taux de caséines totales est significativement plus faible pour les multipares en monotraite, et une augmentation de la fraction de protéines solubles est observée.

I.3. Métabolisme énergétique des brebis laitières

I.3.1. Définition du bilan énergétique négatif

I.3.1.1. Besoins alimentaires des brebis laitières

Le besoin physiologique d'une brebis est défini comme les apports nutritionnels nécessaires à la couverture des dépenses relatives à l'entretien (métabolisme basal et conservation de la masse corporelle) et à la production (selon le stade physiologique, il peut s'agir de la croissance, la gestation ou la lactation). De nombreuses équations développées par l'INRAE existent pour caractériser les besoins en énergie et en protéines des brebis laitières. La couverture de ces besoins dépend d'une part de la valeur alimentaire de la ration distribuée et d'autre part de la quantité ingérée et de sa valorisation.

Les besoins de la brebis sont donc variables au cours du cycle de production : faibles en période de tarissement ou de lutte, période propice à la reconstitution des réserves ; augmentés

en fin de gestation (surtout les deux derniers mois) et élevés en période de lactation (Institut national de la recherche agronomique 2010).

La différence entre les apports énergétiques par l'alimentation et le besoin réel de l'animal est défini comme étant le bilan énergétique. Les stratégies de conduite alimentaire des brebis laitières intègrent le fait qu'au cours d'un cycle de production le bilan énergétique est négatif lorsque les besoins sont élevés et positif le reste du temps, ce qui autorise la reconstitution des réserves corporelles précédemment mobilisées.

1.3.1.2. Capacité d'ingestion et bilan énergétique négatif

En supposant que les quantités distribuées soient suffisantes, la quantité ingérée dépend de l'encombrement de la ration, de la conduite de la distribution mais surtout de la capacité d'ingestion de la brebis.

Cette dernière évolue au cours du cycle de production. Au tarissement elle dépend uniquement du poids vif et de l'état d'engraissement de la brebis. Pendant la gestation elle est impactée positivement par le poids total de la portée mais négativement par la taille de la portée et elle diminue au cours du dernier mois en partie à cause de l'encombrement provoqué par l'utérus gravide. En période d'allaitement-traite la capacité d'ingestion ré-augmente progressivement, et est fonction du gain de poids moyen de la portée et du poids de la mère. Enfin, en période de traite-exclusive elle dépend du poids vif et de la production laitière standardisée (Institut national de la recherche agronomique 2018).

La capacité d'ingestion est donc minimale au moment de l'agnelage, qui correspond à une période critique de majoration des besoins. La divergence entre les apports permis par l'ingestion et les besoins liés à la mise-bas et au début de lactation entraîne un bilan énergétique négatif pouvant persister jusqu'à la fin du premier mois de lactation.

1.3.1.3. Particularités des stratégies de rationnement des brebis laitières

Les ateliers ovins laitiers se distinguent par la prédominance d'une conduite alimentaire en lot, qui ne permet pas l'ajustement aux besoins individuels. Le niveau d'alimentation est donc calculé selon un objectif de production laitière. La stratégie privilégiée pour déterminer ce niveau de production est d'assurer la couverture des besoins en énergie de 85% des brebis et des besoins protéiques de 95% des brebis. Cette stratégie alimentaire conduit à la suralimentation des brebis les moins performantes, mais surtout à la sous-alimentation des

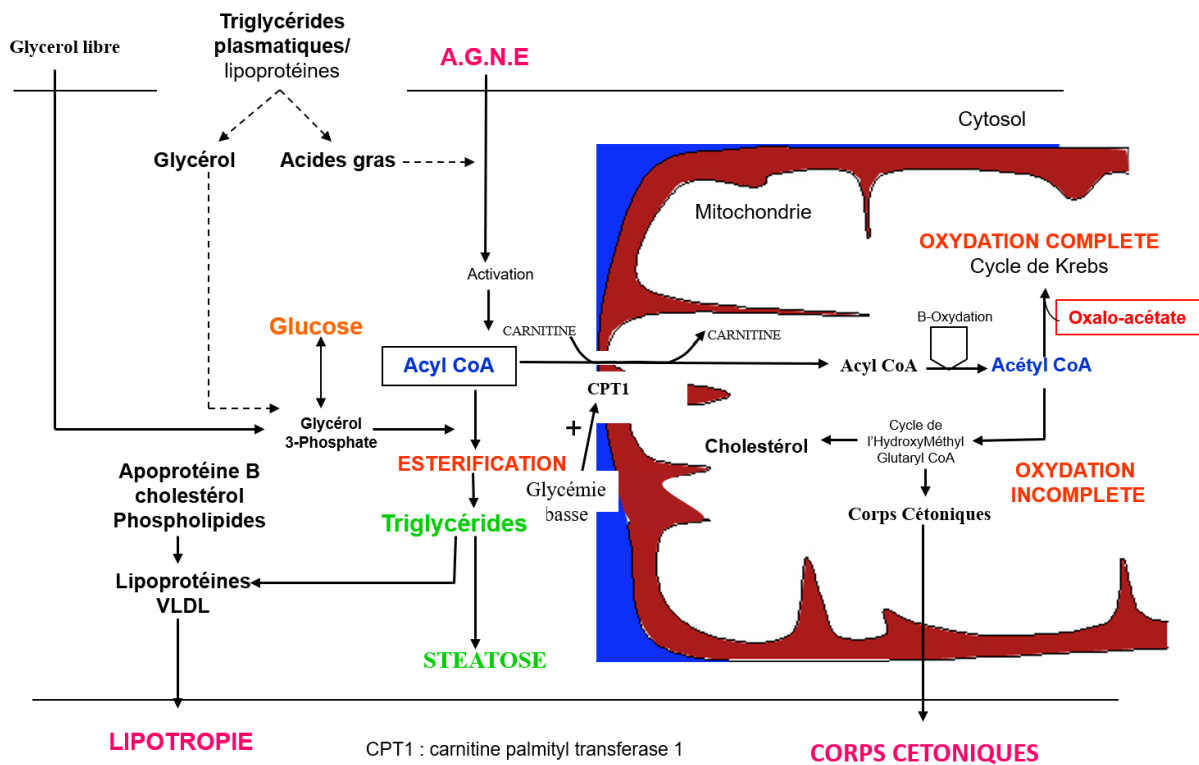


Figure 8 – Schéma récapitulatif du métabolisme hépatique des lipides
 Issu de « Affections hépatiques des bovins » - cours magistral de Pathologies des Ruminants - ENVT - 2021 - F. Corbière

brebis les plus productives majorant d'autant plus le bilan énergétique négatif en début de lactation pour ces dernières (Institut national de la recherche agronomique 2018).

1.3.2. Conséquences d'un bilan énergétique négatif et indicateurs associés

A l'échelle de l'animal, la persistance d'un bilan énergétique négatif se traduit par une perte de poids et la mobilisation des réserves corporelles pour compenser le déficit énergétique.

A l'échelle métabolique, la lipomobilisation se traduit par la libération dans la circulation sanguine, depuis le tissu adipeux, d'acides sous forme de triglycérides, de phospholipides et d'acides gras non estérifiés (AGNE). Les triglycérides et les phospholipides sont transportés par des protéines de faible ou haute densité et utilisés par le métabolisme cellulaire suite à l'action des lipases. Les AGNE sont transportés majoritairement par l'albumine et parfois sous forme libre. Ils peuvent être entièrement oxydés par de nombreux tissus. Toutefois, 15 à 20% des AGNE circulants sont captés par le foie.

Dans les hépatocytes (Figure 8), les AGNE sont soit réestérifiés dans le cytosol pour former des triglycérides dans le foie (conduisant à une stéatose lors d'accumulation excessive), soit oxydés dans les mitochondries. Dans un premier temps, l'oxydation est complète (bêta-oxydation) et produit de l'acétyl-coA oxydé à son tour par le cycle de Krebs. Lorsque le cycle de Krebs est saturé par un excès d'acétyl-coA (et la dérivation de l'oxalo-acétate vers la néoglucogénèse), une oxydation incomplète prend le relais, appelée réaction de cétogenèse. Elle mène à la formation de trois corps cétoniques : l'acétylacétate, l'acétone et le bêta-hydroxybutyrate (BHB), qui sont des substrats énergétiques.

1.3.2.1. Note d'état corporel (NEC)

La note d'état corporel permet d'apprécier la condition musculaire et adipeuse des brebis, par palpation en région lombaire selon la méthode décrite par (Thompson, Meyer 1994). Par conséquent, elle est un indicateur intéressant dans le cadre de la perte de poids en contexte de mobilisation des réserves corporelles.

Elle a l'avantage de ne pas être influencée par les variations de gabarit des animaux contrairement à une évaluation du poids, cependant elle y est positivement corrélée selon plusieurs études avec des gains en 3 et 16 kg par point de NEC variant selon le sexe, l'âge, la race. De nombreuses études ont également montré des corrélations entre la NEC et la graisse corporelle totale, à des indicateurs du rendement de la carcasse en viande maigre, à la profondeur de différents muscles (Kenyon, et al., 2014). González-García et al. (2015) ont

Publications	Méthode de dosage	Population d'étude	Résultats
(Abuelo et al. 2020)	Dosage enzymatique adapté à une plaque 96 puits	Vaches entre 13 et 7 jours pré-partum (n=147)	$\rho = 0.98, p < 0.001$ Sensibilité : 88,9% Spécificité : 100% (seuil : 0,3 mmol/L)
	Analyseur CataChemWell-T®, Catachem		$\rho = 0.99, p < 0.001$ Sensibilité : 94,4% Spécificité : 100% (seuil : 0,3 mmol/L)
(Fukumori et al. 2021)	Test en ferme basé sur réactifs chimiques secs (adapté d'un test développé chez l'homme : BBx®, Teramecs)	Vaches en lactation (n=230)	$r^2 = 0.92, p < 0.0001$ Sensibilité : 93,2% Spécificité : 99,4% (seuil : 0,4 mEq/L) <u>Temps de réaction</u> : 7 minutes pour une concentration de 0,06 mEq/L.
(Venjakob et al. 2023)	Qucare Pro meter®, DFI	Vaches en lactation (n=231)	$\rho \geq 0.73, p < 0.001$ Sensibilité : 59,1-86,4% Spécificité : 95,4-96,7% (seuils : 0,3-0,4-0,7 mEq/L)

Tableau 5 - Synthèse des évaluations recensées dans la littérature relative à l'utilisation d'analyseur à moindre coût et lecteur portable pour mesurer la concentration en AGNE sanguins

montré, en étudiant les profils métaboliques de 96 brebis Lacaune, que la NEC est significativement influencée par la parité ($NEC_{multipares} > NEC_{primipares}$) et la taille de portée ($NEC_{TP=1} > NEC_{TP=2}$).

En revanche, l'évaluation de la NEC est soumise à un fort effet « opérateur ». Kenyon, et al., (2014) soulignent que l'expérience de l'opérateur est le principal facteur influençant la constance des évaluations et que la répétabilité inter-opérateur est variable selon les études considérées, mais d'autant plus forte lorsque des calibrations entre opérateurs ont lieu.

La NEC s'apprécie sur une échelle de 1 (brebis extrêmement maigre) à 5 (brebis suiffarde). La précision de la notation se fait généralement à 0.25 point près, voire moins pour les opérateurs très expérimentés. Les objectifs usuellement admis concernant l'évolution des notes d'état corporel sont les suivants : une note entre 2,75 et 3,25 voire entre 3,0 et 3,5 à la mise-bas et une NEC supérieure à 2 au sevrage des agneaux.

1.3.2.2. Acides gras non-estérifiés (AGNE)

A ce jour, les concentrations sanguines en AGNE sont obtenues principalement par l'envoi de prélèvements sanguins aux laboratoires d'analyses vétérinaires, avec pour méthode de référence la colorimétrie sur réaction enzymatique en point final. Par conséquent, leur évaluation est coûteuse et nécessite un délai pour l'obtention des résultats.

Néanmoins, des méthodes alternatives moins coûteuses tendent à se développer. Abuelo et al. (2020), Fukumori et al. (2021), Venjakob et al. (2023) se sont intéressés à l'utilisation d'analyseur à moindre coût ou de tests utilisables directement en ferme. Leurs résultats sont présentés dans le Tableau 5. Bien que prometteurs, ces tests ne sont pas encore utilisables en routine. Néanmoins, ELANCO a présenté en 2014 un test rapide (NEFA-test®) permettant le dosage des AGNE en ferme avec, selon leur étude interne, une très forte corrélation avec la méthode de référence ($r^2=0.97$), une sensibilité et une spécificité supérieure à 90% pour un seuil fixé à 0,3 mmol/L (Philippe, 2014). Ce lecteur offre une alternative de test rapide utilisable au chevet de l'animal.

Malgré l'absence de tests rapides communément utilisés, les AGNE ont été très fréquemment étudiés chez les vaches laitières depuis les années 1960. De nombreuses études se sont penchées sur les liens entre une élévation des teneurs plasmatiques en AGNE et le risque de développement de pathologie ou de dégradation des performances. Selon les études considérées, les vaches ayant des concentrations en AGNE supérieures aux seuils définis sont plus à risque de présenter un déplacement de caillette à gauche, une métrite, une cétose clinique, une perte de production laitière ou une diminution de chance de gestation 70 jours après la

Test	Seuil (mmol/L)	Sensibilité (%)	IC 95 (%)	Spécificité (%)	IC 95 (%)
PrecisionXtra® (sang)	1.2	94.8	92.6–97.0	97.5	96.9–98.1
	1.4	88.8	83.4–94.2	98.5	97.6–99.3
KetoTest® (lait)	0.05	97.1	92.9–100.0	55.4	21.8–88.9
	0.1	83.4	73.8–92.9	81.3	72.2–90.4
	0.2	39.7	26.9–52.5	94.9	92.4–97.4
KetoStix® (urine)	0.5	87.6	80.0–95.2	89.2	85.0–93.4
	1.5	70.5	61.4–79.7	96.2	95.0–97.5
	4.0	49.5	39.4–59.5	99.1	98.5–99.7

Tableau 6 - Synthèse des seuils, sensibilités et spécificités des trois tests (matrice) utilisés pour évaluer les concentrations en BHB – Adapté de la méta-analyse de Tatone et al. (2016)

période d'attente volontaire. Les seuils utilisés varient entre 0,27 et 0,60 mEq/L dans les 2 semaines pré-partum et autour de 0,72 mEq/L en post-partum (Overton, et al., 2017).

Seely et al. (2021) se sont intéressés à la variation journalière des teneurs en AGNE sanguins chez 28 vaches multipares. La concentration en AGNE suit un rythme circadien avec une teneur maximale (0.9 à 1.1 mmol/L) 2 heures avant le repas distribué le matin à 7h00 et des valeurs faibles (0.3 à 0.4 mmol/L) dès 6 heures après le repas et perdurant jusqu'à 18 heures après celui-ci. Ces résultats impliquent la prise en compte du délai par rapport au repas pour l'interprétation des concentrations et font écho aux précédentes observations réalisées par Quiroz-Rocha et al. (2010). En s'intéressant à 37 vaches la semaine précédant le vêlage, ils ont montré que 32% des vaches avaient des concentrations en AGNE supérieures au seuil fixé à 0,4 mmol/L lorsqu'elles étaient prélevées une heure avant le premier repas et que cette proportion était divisée par deux lorsque le prélèvement était répété quatre et dix heures après le repas.

Chez la brebis, González-García et al. (2015) ont montré que les concentrations en acides gras non estérifiées sont soumises à des effets liées à la parité ($AGNE_{\text{primipare}} > AGNE_{\text{multipare}}$) et la taille de portée ($AGNE_{\text{TP=2}} > AGNE_{\text{TP=1}}$). Par ailleurs, ils soulignent que les concentrations en AGNE des brebis gravides de portées doubles sont plus élevées en fin de gestation et en allaitement-traite par comparaison aux brebis gravide de portées simples et que cette différence s'efface après le sevrage des agneaux. En période de traite, les primipares en monotraite présentent des concentrations plus faibles que celles en bi-traite.

1.3.2.3. *Bêta-hydroxybutyrate (BHB)*

L'intérêt porté aux corps cétoniques est encore plus ancien que pour les AGNE, avec une première publication dans les années 1940. Les méthodes pour évaluer détecter les corps cétoniques sont nombreuses et disponibles pour plusieurs substrats : urine : bandelettes (BHB ou acéto-acétate) ; lait : bandelettes, poudres et liquides (BHB ou acéto-acétate) et plus récemment spectre en moyen infrarouge (MIR) (utilisé en routine par le Herd Navigator® - DELAVAL) ; sang (total, plasma ou sérum) : lecteurs portables (tel que le lecteur FreeStyle® Optium NEO, utilisé dans notre étude) ou colorimétrie sur réaction enzymatique en point final (gold standard) évaluant systématiquement les concentrations en BHB (Overton, et al., 2017).

Tatone et al. (2016) proposent une revue (n= 23 études) rassemblant tous les tests rapides utilisés pour l'évaluation de l'hypercétonémie chez la vache laitière et une méta-analyse (n= 18 études) comparant trois tests utilisés sur le sang, le lait et l'urine dont les résultats sont présentés dans le Tableau 6. Les tests réalisés sur le lait et l'urine présentent de bonne spécificité mais de faible sensibilité tandis que le lecteur portable sur sang total combinent de très bonnes

Publications	Référence lecteur	Population d'étude	Résultats
			r=0.99, p<0.01
(Panousis et al. 2012)	Precision Xceed® (Abbot)	Brebis (Chios et croisées) saines en lactation (n=50) et tarées (n=143)	Sensibilité : 98,6% Spécificité : 98,2% (seuil : 0,8 mmol/L)
(Hornig et al. 2013)	Precision Xtra® (Abbot)	Brebis (croisées) gestantes (n=36)	r=0.934, p<0.001
(Pichler et al. 2014)	Precision Xceed® (Abbot)	Brebis (Tyrol, East Friesia et croisées) gestantes (n=160) et en lactation (n=198)	r= 0.96, p<0.01 Sensibilité : 100% Spécificité : 97% (seuil : 1,1 mmol/L)
			CCC* = 0.94
(Panousis et al. 2018)	BELUA® (WellionVet)	Brebis (laitières) en lactation (n=51) et tarées (n=186)	Sensibilité* : 88,5% Spécificité* : 94,8% (seuil : 0,8 mmol/L) *avec une correction de 0,2 mmol/L
(Araújo et al. 2020)	Optium Xceed® (Abbot)	Brebis (croisées) vides et tarées - hypercétonémie induite : perfusion de BHB (n=19)	r=0.98, p<0.001 Sensibilité : 98% Spécificité : 81% (valeur : 0,8-1,6 mmol/L)

Tableau 7 – Synthèse des évaluations recensées dans la littérature relative à l'utilisation de lecteur portable pour mesurer la concentration en BHB sanguin chez les brebis
CCC : coefficient de corrélation de concordance

sensibilité et spécificité. Cette observation justifie l'avènement de l'utilisation des lecteurs portables mesurant les BHB ces dernières années.

L'utilisation de lecteur portable pour la mesure des concentrations en BHB sanguins chez les brebis a été évaluée par Panousis et al. (2012), Hornig et al. (2013), Pichler et al. (2014), Panousis et al. (2018), Araújo et al. (2020). Leurs résultats sont présentés dans le Tableau 7. On observe uniformément de bonnes corrélations avec la méthode de référence et de très bonnes sensibilité et spécificité pour la détection de valeurs élevées de BHB sanguins (> 0.8 ou 1.1 mmol/L).

Concernant les conditions pré-analytiques liées à l'utilisation des lecteurs portables, il a été montré chez les bovins que, moyennant un ajustement des seuils considérés, l'utilisation de plasma ou de sérum était possible ; que la température de stockage du lecteur et de la bandelette n'influençait pas les mesures contrairement à la température de l'échantillon qui doit idéalement être proche de la température corporelle ; qu'il est possible d'utiliser du sang veineux (veine jugulaire ou coccygienne) ou du sang capillaire (vulve ou oreille) (Overton, et al., 2017).

A l'instar des AGNE, de nombreuses études se sont intéressées aux conséquences d'une élévation de la concentration plasmatique en BHB. Les mêmes relations avec les pathologies post-partum, la production laitière et la reproduction sont observées. Les seuils utilisés varient entre $0,96$ et $1,2$ mmol/L. Toutefois, le seuil de $1,2$ mmol/L est communément admis chez la vache pour parler d'hypercétonémie (Overton, et al., 2017).

Seely et al. (2021) se sont également intéressés à la variation journalière des concentrations en BHB sanguin chez 28 vaches multipares. Comme pour les AGNE, ils ont mis en évidence une cinétique diurnale avec minimum atteint au moment du repas à 07 heures du matin (concentrations de 0.63 ± 0.15 mmol/L) et un pic de concentration atteint quatre heures plus tard (1.41 ± 0.20 mmol/L). Ainsi, l'interprétation des concentrations sanguines en BHB est influencée par le délai depuis le dernier repas. Toutefois, les résultats obtenus par Quiroz-Rocha et al. (2010) nuancent l'importance de cette variation : en considérant un seuil de $1,4$ mmol/L, le pourcentage de vaches présentant une concentration en BHB supérieur au seuil n'est pas influencé par le délai au dernier repas.

A l'image des observations faites précédemment pour les AGNE, González-García et al. (2015) ont montré que les concentrations en BHB chez la brebis Lacaune sont soumises à des effets liés à la parité ($BHB_{\text{primipare}} > BHB_{\text{multipare}}$) et la taille de portée ($BHB_{\text{TP=2}} > BHB_{\text{TP=1}}$) d'autant plus marqués en allaitement-traite et que les primipares en monotraite présentent des concentrations en BHB plus faibles.

1.3.2.4. Composition du lait

L'avantage des composants du lait par comparaison aux indicateurs sanguins relève principalement du caractère non invasif et de la facilité du prélèvement en filière laitière.

Les ratios entre taux butyreux (TB) et taux protéique (TP) sont les éléments du lait les plus anciennement utilisés pour caractériser un bilan énergétique négatif (ou un risque de subcétose ou cétose) chez la vache laitière. Le taux butyreux tend à augmenter tandis que le taux protéique reste relativement stable (et permet une correction de la variabilité individuelle des taux). Duffield et al. (1997) rapportent une sensibilité de 58% et une spécificité de 69% lorsqu'on considère un seuil de 0,75 pour le rapport TP/TB (soit un rapport TB/TP = 1,33) pour la détection de cétose subclinique. Krogh, et al., (2011) rapportent quant à eux une sensibilité de 63% et une spécificité de 79% pour un seuil de 1,5 pour le rapport TB/TP pour détection de cétose clinique. Cet indicateur est néanmoins peu sensible.

Précédés par les travaux de Jorjong et al. (2015) et Mann et al. (2016) ; Dórea, et al., (2017) se sont penchés sur l'utilisation des acides gras du lait comme estimateur de la concentration en AGNE sanguins et par conséquent, comme indicateur d'un bilan énergétique négatif chez la vache laitière (n=105). Le seuil en AGNE sanguin utilisé est de 0,6 mEq/L. Parmi les 30 acides gras du lait étudiés initialement, 10 ont été retenus comme étant de bons indicateurs (C6:0 à C15:0). Les auteurs soulignent que la plupart des acides gras retenus sont ceux issus de la synthèse *de novo* dans la mamelle. Un bilan énergétique négatif est associé à une hausse des AGNE sanguins impliquant une diminution de cette synthèse, par conséquent des seuils de valeur minimale acceptable ont été définis. Cette observation est appuyée par Khiaosa-ard et al. (2020) qui ont montré chez la vache laitière en début de lactation une hausse de la teneur du lait en C18:1c9 au détriment des acides gras issus de la synthèse mammaire.

Par ailleurs, les acides gras monoinsaturés C18:1 ont également été intégrés car la corrélation entre leur proportion dans le lait et les concentrations en AGNE plasmatiques a été plusieurs fois démontrée (Jorjong et al. 2015; Mann et al. 2016) et s'explique par la hausse de la capture des AGNE plasmatiques par la mamelle. Toutefois, Dórea, et al., (2017) ont mis en évidence un phénomène de saturation : la teneur du lait en C18:1 atteint un plateau tandis que les concentrations en AGNE continuent d'augmenter. Ainsi, de bons indicateurs ont été déterminés sous la forme de trois ratios :

- C18:1 / (Somme des acides gras pairs C2:0 à C12:0),
- C18:1 / C14:0,
- C18:1 / C15:0,

Auxquels est ajouté le ratio C17:0 / C15:0 (moins sensible aux variations alimentaires que les 3 précédents). Ces quatre ratios tendent à augmenter lors de bilan énergétique négatif, des seuils

de valeur maximale acceptable ont donc été définis. Ultérieurement, Khiaosa-ard et al. (2020) ont mis en évidence que les trois ratios incluant les C18:1 précédemment annoncés sont systématiquement associés aux concentrations sanguines en AGNE et BHB.

Nécessitant toutefois d'être confrontée à la précision des équations de prédictions par spectrométrie en moyen infra-rouge, l'utilisation des acides gras du lait constitue un indicateur fiable (sensibilité entre 72,0 et 94,8% et spécificité entre 70,0 et 90,2%) d'un bilan énergétique négatif (Dórea, et al. 2017).

Mäntysaari et al. (2019) se sont intéressés aux corrélations entre les acides gras du lait et les concentrations plasmatiques en AGNE, concluant que les teneurs en acides gras du lait étaient des indicateurs d'une précision moyennement élevée du statut énergétique de la vache laitière et que leur valeur prédictive était d'autant plus importante pour le lait issu de la traite du soir. Des variations journalières des teneurs et des pourcentages des acides gras du lait chez des vaches traitées trois fois par jour ont été mises en évidence par Seely et al. (2022), concernant particulièrement les acides gras C16:0, C18:0 et surtout C18:1c9 avec des valeurs minimales à la première traite (3 heures avant le repas) et un maximum atteint à la seconde (5 heures après le repas).

Aujourd'hui peu utilisée chez les ovins, les travaux réalisés dans le cadre du programme PHENOFINLAIT suggèrent de futures perspectives d'utilisation de la composition fine du lait grâce au développement des équations de prédiction par spectrométrie en moyen infra-rouge adaptés à l'espèce ovine (Gelé et al. 2014).

I.4. Contexte et objectifs de l'étude

L'élevage ovin laitier s'illustre par la pratique de l'allaitement-traite pendant le premier mois de lactation au cours duquel le pic de lactation est atteint, suivi par une période de traite-exclusive après le sevrage des agneaux. L'allaitement-traite constitue une sorte de « boîte noire » : cette période est rarement étudiée et par conséquent les indicateurs relatifs à la conduite d'élevage peu nombreux.

D'autre part, les indicateurs du bilan énergétique en début de lactation (BHB et AGNE sanguins, composition du lait) sont largement documentés et utilisés chez la vache laitière, mais leur utilisation est beaucoup plus confidentielle chez les ovins et la littérature à ce sujet peu fournie.

Ainsi, cette étude avait pour objectif d'évaluer l'intérêt de l'utilisation du dosage des BHB et AGNE sanguins ainsi que de la composition fine du lait pour la caractérisation du

métabolisme énergétique des brebis laitières durant la période d'allaitement traite, afin de permettre une conduite plus efficace du troupeau, particulièrement au début de la lactation. A cet effet, la pertinence des méthodes de dosage des métabolites sanguins (BHB et AGNE) et l'interprétabilité des mesures ont été évaluées.

Cette étude s'est attachée à (i) évaluer la corrélation entre les résultats d'analyse obtenus par des dispositifs de dosage rapides et ceux obtenus par les méthodes de référence, (ii) à décrire les cinétiques journalières des BHB et AGNE sanguins à l'échelle individuelle et d'un lot de brebis et finalement (iii) à étudier les relations entre l'évolution des notes d'état corporel en début de lactation et les indicateurs métaboliques sanguins ou les éléments de production et de composition du lait.

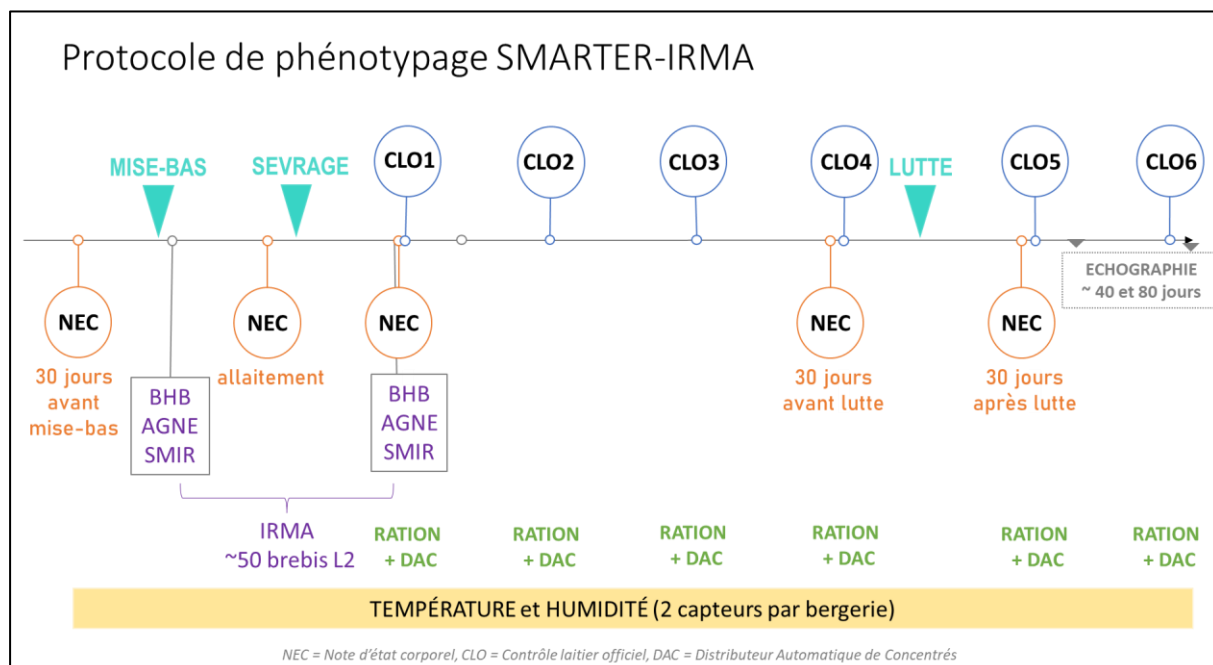


Figure 9 – Protocole de phénotypage des projets IRMA et SMARTER

Les données collectées dans le cadre du programme SMARTER concernent toutes les brebis en lactation de tous les élevages intégrés à l'étude et correspondent aux NEC, résultats de contrôle laitier officiel (CLO), rations et température/humidité des bâtiments. Les données collectées dans le cadre du programme IRMA sont une extraction des données du projet SMARTER pour la campagne 2021 auxquelles s'ajoutent le dosage des BHB et AGNE sanguins et l'évaluation du spectre MIR du lait pour une cinquantaine de brebis issues du lot principal d'insémination artificielle majoritairement en seconde lactation.

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Conception de l'étude

Cette étude s'intègre dans le cadre du projet Carnot France Futur Elevage IRMA, adossé au projet H2020 SMARTER. Ce projet s'intéresse à la valorisation des spectres en moyen infrarouge (MIR) du lait pour l'optimisation du pilotage des troupeaux de brebis laitières. L'accent est mis sur l'efficience de la conduite alimentaire en y intégrant les valences du métabolisme énergétique, du microbiote digestif et de la santé des brebis et des agneaux. Par ailleurs, une attention particulière est portée au début de lactation au cours duquel une période d'allaitement-traite d'environ 1 mois est pratiquée.

Ce travail repose sur la participation de l'EPLFPA La Cazotte et certains des élevages commerciaux participant au projet H2020 SMARTER. L'étude pour ce travail de thèse s'est consacrée aux campagnes laitières 2021 (474 brebis) et 2022 (58 brebis). La phase de prélèvement a débuté en novembre 2020 et s'est terminée en novembre 2021.

La première campagne de prélèvements (2021) s'est attachée à réaliser des mesures dans 8 fermes commerciales et au l'EPLFPA La Cazotte lors de 2 périodes distinctes : allaitement-traite et 1^{er} contrôle laitier (Figure 9). Les manipulations réalisées l'année suivante (campagne 2022) avaient pour objectifs, plus réduits, de décrire les cinétiques diurnales de la concentration sanguine en BHB et AGNE et l'influence du type de ration alimentaire, permettant une meilleure interprétation des résultats obtenus l'année précédente.

II.2. Population d'étude

II.2.1. *Elevages et caractéristiques des troupeaux*

II.2.1.1. *Fermes commerciales*

Les prélèvements ont été réalisés au sein de 8 élevages commerciaux en contrôle laitier officiel (CLO), répartis de la manière suivante :

- rayon de Roquefort (ROQ) (Aveyron - 12, France) : 4 troupeaux, tous en race Lacaune (élevages « BA », « DE », « GT » et « VE ») ;
- Pyrénées-Atlantiques (PA) (64, France) : 4 troupeaux : 2 en race Manech Tête Rousse (« FS » et « ZI »), 1 en race Manech Tête Noire (« BE ») et 1 en race Basco-béarnaise (« GP »).

Pour tous ces élevages, le premier agnelage intervient à l'âge d'un an, à l'exception de l'élevage « BE » en race MTN pour lequel le premier agnelage intervient à l'âge de deux ans.

			Âge (mois) premier agnelage		Âge (mois) second agnelage	
Bassin	Race	Elevage	Effectif	Moyenne (+/- sd)	Effectif	Moyenne (+/- sd)
ROQ	LAC	BA	161	14,80 (+/- 4,15)	86	25,20 (+/- 3,49)
		DE	202	14,02 (+/- 3,85)	147	26,32 (+/- 4,39)
		GT	211	14,58 (+/- 2,50)	179	26,18 (+/- 4,19)
		VE	170	13,67 (+/- 3,49)	110	24,30 (+/- 0,56)
		CA	214	14,61 (+/- 3,56)	146	24,77 (+/- 2,83)
PA	BB	GP	196	15,94 (+/- 1,98)	103	26,03 (+/- 3,67)
		FS	92	16,13 (+/- 5,19)	55	28,19 (+/- 5,45)
	MTR	ZI	120	15,51 (+/- 4,79)	89	29,19 (+/- 6,26)
		MTN	BE	175	24,91 (+/- 1,88)	74

Tableau 8 – Age moyen au premier et second agnelage des troupeaux prélevés au cours de la campagne 2021

Effectifs prélevés par rang de lactation lors de la campagne 2021								
Bassin	Race	Elevage	1	2	3	4	≥ 5	Total
ROQ	LAC	BA		50				50
		DE		50				50
		GT		49				49
		VE		50				50
		CA		30	27	12	11	80
PA	BB	GP		3	20	25		48
		FS		42	9			51
	MTR	ZI		42	6			48
		MTN	BE	48				
Total			48	316	62	37	11	474

Tableau 9 – Caractéristiques des brebis prélevées (race, élevage, rang de lactation) au cours de la campagne 2021

Les âges moyens au premier agnelage et second agnelage pour l'ensemble des troupeaux sont décrits dans le Tableau 8.

Les pratiques alimentaires diffèrent entre les troupeaux (composition, modalités de distribution...). La composition des rations de base (fourrages principaux) était extrêmement variable au sein d'un même troupeau et fonction du stade physiologique. Un recueil de la nature et des quantités distribuées de chaque composant des rations a été réalisé par les techniciens d'élevage dans le cadre du projet SMARTER entre la fin de gestation et le premier contrôle laitier, en tentant de s'attacher à l'identification des changements temporels. Malheureusement, ces données sont apparues difficilement exploitables pour qualifier l'adéquation entre les apports et les besoins physiologique en raison, entre autres, d'informations parfois incomplètes ou vraisemblablement erronées, de changements alimentaires très fréquents et mal renseignés, de l'absence d'analyse des fourrages dans beaucoup d'élevages suivis et de l'absence d'estimation des refus. Ces données n'ont donc pas été exploitées dans le cadre de ce travail. Notons cependant que l'élevage « VE » (ROQ – LAC) se distingue par l'inclusion, dès la mise-bas, de betterave fourragère dans sa ration.

II.2.1.2. Ferme expérimentale : EPLEFPA La Cazotte

Les prélèvements ont également été réalisés au sein du troupeau en race Lacaune du Lycée Professionnel Agricole de Saint-Affrique (Aveyron - 12, France) – La Cazotte (« CA »).

Ce troupeau se caractérise par un âge d'un an au premier agnelage (Tableau 8). La ration de base, constituée de 2/3 d'ensilage de ray-grass italien et de 1/3 de foin en allaitement-traite et de 50 % d'ensilage ray-grass italien, 30 % d'ensilage de maïs, et 30 % de foin après le sevrage de agneaux était distribuée une fois par jour à 8h30 et le concentré fractionné en 4 distributions (9h30, 11h30, 14h00 et 17h45). La traite avait lieu à 15h00 en période d'allaitement-traite, et à 7h30 et 16h00 après le sevrage des agneaux.

II.2.2. Effectifs et caractéristiques des brebis prélevées

II.2.2.1. Campagne 2021

Lors de la campagne 2021, un total de 474 brebis ont été étudiées : environ 50 brebis par fermes commerciales et 80 brebis au sein du troupeau « CA ». Ces brebis appartiennent toutes au lot principal d'insémination artificielle (IA). L'ensemble des effectifs sont détaillés par rang de lactation dans le *Tableau 9*.

Dates et durée des périodes d'agnelage							
Bassin	Race	Elevage	Médiane	Q1 (25%)	Q3 (75%)	Durée période agnelage (jours)	
ROQ	LAC	BA	2020-10-21	2020-10-20	2020-10-23	8	
		DE	2020-11-18	2020-11-17	2020-11-19	7	
		GT	2020-10-12	2020-10-11	2020-10-13	9	
		VE	2020-10-30	2020-10-29	2020-10-31	7	
		CA	2020-10-10	2020-10-10	2020-10-11	3	
PA	MTR	BB	GP	2020-10-17	2020-10-13	2020-11-01	30
		FS	2020-10-18	2020-10-17	2020-10-20	27	
		ZI	2020-11-17	2020-11-16	2020-11-19	16	
		MTN	BE	2020-11-10	2020-11-07	2020-11-13	26

Tableau 10 – Distribution des dates d'agnelages des brebis prélevées au cours de la campagne 2021

Effectifs des brebis ayant été prélevées 1 ou 2 fois						
Bassin	Race	Elevage	1 prélèvement	2 prélèvements	Total	
ROQ	LAC	BA	1	49	50	
		DE	1	49	50	
		GT	12	37	49	
		VE	3	47	50	
		CA	4	76	80	
PA	MTR	BB	GP	1	47	48
		FS	7	44	51	
		ZI	3	45	48	
		MTN	BE	2	46	48
Total			34	440	474	

Tableau 11 – Nombre de prélèvements effectués par brebis et par élevage au cours de la campagne 2021

Effectifs prélevés par rang de lactation								
Bassin	Race	Elevage	1	2	3	4	≥ 5	Total
ROQ	LAC	CA		20	16	8	14	58

Tableau 12 – Caractéristiques des brebis prélevées (race, élevage, rang de lactation) au cours de la campagne 2022

Au sein des fermes commerciales du bassin Roquefort (« BA », « DE », « GT », « VE »), toutes les brebis de race Lacaune entrent dans leur seconde lactation. En revanche, les brebis Lacaune de l'EPLEFPA La Cazotte (« CA ») appartiennent à un lot présentant une hétérogénéité des rangs de lactation (entre 2 et 8).

Dans le rayon des Pyrénées-Atlantiques, les brebis Basco-Béarnaises de l'élevage « GP » entrent dans leur troisième ou quatrième lactation. Les brebis Manech Tête Rousse (« FS » et « ZI ») sont principalement en seconde lactation (complétées de quelques brebis en troisième lactation). Et enfin, les brebis Manech Tête Noire sont exclusivement primipares, l'élevage « BE » se distinguant par un premier agnelage à l'âge de deux ans.

Les brebis étudiées au cours de la campagne 2021 ont toutes agnelé entre octobre et novembre 2020. Les agnelages sont relativement groupés au sein des lots prélevés : la période d'agnelage varie entre 3 et 9 jours pour le bassin Roquefort et entre 16 et 30 jours pour le bassin Pyrénées-Atlantiques. Des précisions sont apportées dans le Tableau 10.

L'objectif était de réaliser deux sessions de prélèvements par animal. Néanmoins, 34 brebis n'ont pu être associées qu'à un unique prélèvement (Tableau 11). Les raisons sont multiples : brebis sorties du troupeau, brebis non prélevées par erreur, défauts d'identification et pertes de prélèvements lors des manipulations liées au transport, stockage et dosage.

II.2.2.2. Campagne 2022

Lors de la campagne 2022, un total de 58 brebis de race Lacaune a été prélevé. Ces dernières appartenaient toutes au lot principal d'insémination artificielle (IA) de l'EPLEFPA La Cazotte (« CA »). Il s'agit de brebis de rangs de lactation hétérogènes (entre 2 et 7), dont la répartition par rang est détaillée dans le Tableau 12.

Moyennes et écart-types des jours en lait associés aux prélèvements sanguins								
Période	Moyenne (+/- sd)	Bassin	Moyenne (+/- sd)	Race	Elevage	Demi-journée	Moyenne (+/- sd)	
AT	23,3 (+/- 5,0)	ROQ	24,9 (+/- 2,1)	LAC	BA	AM	26,5 (+/- 1,8)	
					DE	M	23,3 (+/- 1,9)	
					GT	M	23,4 (+/- 2,2)	
					VE	AM	24,5 (+/- 1,6)	
					CA	AM	26,0 (+/- 0,9)	
		PA	21,1 (+/- 6,8)	MTR	BB	GP	M	21,6 (+/- 9,4)
					FS	M	23,0 (+/- 5,0)	
					ZI	AM	16,7 (+/- 3,9)	
					MTN	BE	M	23,2 (+/- 5,0)
					CL1	58,1 (+/- 5,9)	ROQ	57,7 (+/- 3,6)
DE	M	55,3 (+/- 1,9)						
GT	M	57,5 (+/- 2,0)						
VE	AM	52,6 (+/- 1,6)						
CA	AM	60,0 (+/- 0,9)						
PA	58,6 (+/- 8,2)	MTR	BB	GP			AM	63,0 (+/- 9,4)
			FS	M			64,0 (+/- 5,5)	
			ZI	M			50,6 (+/- 3,9)	
			MTN	BE			M	57,2 +/- (5,0)

Tableau 13 – Délais entre agnelages et prélèvements sanguins (par visites, bassins et élevages) au cours de la campagne 2021

Moyennes et écart-types des jours en lait associés au prélèvements sanguins et effectifs prélevés pour chaque série							
Bassin	Race	Elevage	Période	Moyenne JEL (+/- sd)	Série	Délai par rapport au repas (h)	Effectif
ROQ	LAC	CA	AT	11,9 (+/- 2,6)	A	0	58
					B	+ 2,5	32
					C	+ 5,5	32
					D	+ 7,5	58
			CL1	39,9 (+/- 2,6)	A	0	57
					B	+ 2,5	57
					C	+ 5,5	57
					D	+ 7,5	57

Tableau 14 – Délais entre agnelages et prélèvements sanguins et détails des séries de prélèvements (horaires et effectifs) au cours de la campagne 2022

II.3. Prélèvements et recueil de données

II.3.1. Prélèvements sanguins

II.3.1.1. Calendrier des prélèvements sanguins

- Campagne 2021 : Les prélèvements sont intervenus à deux moments du cycle de production : l'allaitement-traite (23,3 +/- 5,0 jours après l'agnelage) et le premier contrôle laitier (58,1 +/- 5,9 jours après l'agnelage). L'ensemble des modalités de prélèvements sont détaillées dans le Tableau 13.

Pour des raisons logistiques, on observe :

- que les prélèvements ont été réalisés soit le matin (M) (entre 07h00 et 10h00), soit l'après-midi (AM) (entre 14h00 et 16h00) ;
- une légère variabilité dans les délais séparant les dates de prélèvement et d'agnelage (entre les troupeaux et au sein des lots), (« jours en lait », JEL).

- Campagne 2022 : les prélèvements se sont déroulés sur 2 jours correspondants à l'allaitement-traite (11,9 +/- 2,6 jours après l'agnelage) et au premier contrôle laitier (39,9 +/- 2,6 jours après l'agnelage). Pour chaque journée, une série de 4 prélèvements (annotés de A à D) a été réalisée selon les modalités décrites dans le Tableau 14.

Pour des raisons logistiques, seulement 32/58 brebis ont été prélevées pour les séries B (+ 2,5 heures) et C (+ 5,5 heures) lors de la période d'allaitement-traite.

II.3.1.2. Réalisation des prélèvements sanguins et conservation

Toutes les prises de sang ont été réalisées sur tube hépariné à la veine jugulaire à l'aide d'aiguilles de 18G (1,2 x 25 mm) montées sur BD Vacutainer®.

Les tubes ont été centrifugés en ferme dans les 10 minutes suivant le prélèvement. Le plasma hépariné a ensuite été divisé en 3 aliquotes (Eppendorf® 1,5 mL), identifiées et congelées à environ -80°C dans de la carboglace pour assurer leur transfert au laboratoire.

Moyennes et écart-types des jours en lait associés aux prélèvements de lait								
Période	Moyenne (+/- sd)	Bassin	Moyenne (+/- sd)	Race	Elevage	Demi- journée	Moyenne (+/- sd)	
AT	23,3 (+/- 5,0)	ROQ	24,9 (+/- 2,1)	LAC	BA	AM	26,5 (+/- 1,8)	
					DE	M	23,3 (+/- 1,9)	
					GT	M	23,4 (+/- 2,1)	
					VE	AM	24,5 (+/- 1,6)	
					CA	AM	26,0 (+/- 0,9)	
		PA	21,1 (+/- 6,8)	MTR	BB	GP	M	21,6 (+/- 9,4)
					ZI	FS	M	23,0 (+/- 5,7)
						AM	16,7 (+/- 3,9)	
						M	23,2 (+/- 5,0)	
					MTN	BE	M	23,2 (+/- 5,0)
CL1	57,3 (+/- 6,0)	ROQ	58,0 (+/- 4,0)	LAC	BA	M	60,5 (+/- 1,8)	
					DE	<i>Résultats non disponibles</i>		
					GT	<i>Résultats non disponibles</i>		
					VE	M	51,7 (+/- 1,6)	
					CA	AM	60,0 (+/- 1,0)	
		PA	56,7 (+/- 7,4)	MTR	BB	GP	M	59,8 (+/- 9,4)
					ZI	FS	M	59,7 (+/- 6,0)
						M	56,5 (+/- 3,9)	
						M	51,2 +/- (5,0)	
					MTN	BE	M	51,2 +/- (5,0)

Tableau 15 – Délais entre agnelages et prélèvements de lait (par visites, bassins et élevages) au cours de la campagne 2021

II.3.2. Prélèvements de lait

II.3.2.1. Calendrier des prélèvements de lait

Les prélèvements de lait n'ont été réalisés que pour la campagne 2021. Lait et sang n'ont pas systématiquement été prélevés le même jour. Néanmoins, ils sont eux aussi associés aux périodes d'allaitement-traite (23,3 +/- 5,0 jours après l'agnelage) et de premier contrôle laitier (57,3 +/- 6,0 jours après l'agnelage).

Les mêmes remarques (que pour les prélèvements de sang) concernant les demi-journées de prélèvements et les délais par rapport à l'agnelage peuvent être faites. Soulignons l'absence de résultats pour la composition fine du lait pour les élevages DE et GT du Rayon de Roquefort au premier contrôle laitier en raison d'un défaut de traçabilité des spectres MIR. Les détails des modalités de prélèvements sont précisés dans le Tableau 15.

II.3.2.2. Réalisation des prélèvements de lait et conservation

Tous les prélèvements ont été obtenus en salle de traite. Selon les élevages, ces derniers étaient obtenus par traite manuelle ou par dérivation de la machine à traire. Ils ont été réalisés dans des pots à prélèvements de 60 mL, identifiés et congelés à -80°C dans de la carboglace pour assurer leur transfert au laboratoire.

II.3.3. Notes d'état corporel

Des notes d'état corporel (NEC) ont été évaluées par palpation selon la méthode décrite par Thompson, Meyer (1994), avec une précision de 0,25 point, par un opérateur unique et entraîné dans chaque élevage lors de la campagne 2021. Ces NEC ont été évaluées à 5 moments : fin de gestation (27 +/- 4,8 jours avant l'agnelage, n=396), allaitement-traite (26 +/- 6,5 jours après l'agnelage, n=395), premier contrôle laitier (52 +/- 6,9 jours après agnelage, n=273), avant l'IA (191 +/- 7,3 jours après l'agnelage, n=276) et après l'IA (243 +/- 7,5 jours après l'agnelage, n=252).

Pour des raisons logistiques, on observe une certaine variabilité dans les délais séparant les évaluations de NEC de l'agnelage. D'autre part, les 5 périodes précédemment citées ne sont pas toutes associées à une valeur de NEC selon les élevages.

Bassin	Race	Elevage	NEC 1	NEC 2	NEC 3	NEC 4	NEC 5		
ROQ	LAC	BA	Effectif	50	50	50	47	46	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-34 (+/- 1,8)	26 (+/- 1,8)	55 (+/- 1,8)	189 (+/- 1,9)	251 (+/- 1,9)	
		DE	Effectif	50	50	48	47	43	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-28 (+/- 1,9)	29 (+/- 1,9)	58 (+/- 1,9)	189 (+/- 1,8)	245 (+/- 1,8)	
		GT	Effectif	48	48	47	36	35	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-26 (+/- 2,1)	27 (+/- 2,1)	62 (+/- 2,1)	191 (+/- 2,3)	245 (+/- 2,3)	
	VE	Effectif	50	50	49	42	42		
		Moyenne JEL (+/-sd)	-30 (+/- 1,6)	23 (+/- 1,6)	45 (+/- 1,6)	191 (+/- 1,6)	244 (+/- 1,6)		
	CA	Effectif	80	80	79	-	-		
		Moyenne JEL (+/-sd)	-25 (+/- 0,9)	26 (+/- 0,9)	46 (+/- 0,9)	-	-		
	PA	BB	GP	Effectif	-	-	-	-	-
				Moyenne JEL (+/-sd)	-	-	-	-	-
MTR		FS	Effectif	37	37	-	32	30	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-27 (+/- 5,6)	30 (+/- 5,6)	-	201 (+/- 5,6)	240 (+/- 5,9)	
		ZI	Effectif	33	33	-	31	32	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-20 (+/- 4,0)	41 (+/- 3,9)	-	203 (+/- 4,0)	242 (+/- 3,9)	
MTN		BE	Effectif	48	47	-	41	24	
			Moyenne JEL (+/-sd)	-25 (+/- 5,0)	17 (+/- 5,0)	-	182 (+/- 4,8)	225 (+/- 4,5)	

Tableau 16 – Effectifs et délais entre agnelages et évaluations des NEC au cours de la campagne 2021

L'élevage GP en race Basco-béarnaise se distinguant par le prélèvement de brebis primipares (2 ans) n'est associé à aucune NEC (les brebis ayant fait l'objet d'une NEC étaient d'un autre millésime de naissance que celle que nous avons prélevées). L'ensemble de ces informations sont synthétisées dans le Tableau 16.

II.3.4. Extraction et calculs des données de production et de reproduction

II.3.4.1. Extraction des données du SIEOL

Les données suivantes ont été extraites du Système d'Information en Elevage Ovin Laitier (SIEOL). Pour chaque troupeau, les données de production laitière moyennes ; pour chaque brebis prélevée, les données :

- de production : date de naissance, rang de lactation, résultats des 6 premiers contrôles laitiers (production laitière (PL), taux protéiques (TP) et butyreux (TB), comptage de cellules somatiques (CCS), urée), lait de référence à 50 (LAIR50) et 160 (LAIR160) jours,
- et de reproduction : mode de reproduction, date d'agnelage (de la campagne de prélèvements), taille de portée, sexes des agneaux .

II.3.4.2. Calculs des productions laitières standardisées

Les productions laitières standardisées (PLS) individuelles et moyennes par troupeau ont été calculées pour chaque contrôle laitier, en se basant sur la formule issue de (Institut national de la recherche agronomique 2010) :

$$PLS = PL \times [(0,0071 \times TB) + (0,0043 \times TP) + 0,2224]$$

	Effectif des mesures de [BHB] par méthode		
	AT	CL1	Total
Freestyle® Optium NEO	463	443	906
IODOLAB (<i>colorimétrie sur réaction enzymatique en point final</i>)	85	58	143

Tableau 17 – Effectifs des concentrations en BHB selon la méthode de mesures utilisée

	Effectif des mesures de [AGNE] par méthode		
	AT	CL1	Total
Instruchemie® (<i>colorimétrie sur réaction enzymatique – 546 nm</i>)	458	391	849
IODOLAB (<i>colorimétrie sur réaction enzymatique en point final</i>)	74	54	128

Tableau 18 – Effectifs des concentrations en AGNE selon la méthode de mesures utilisée

II.4. Analyses de laboratoire

II.4.1. Métabolites sanguins

II.4.1.1. Evaluation des concentrations sanguines en BHB

Les concentrations en BHB sanguin ont été mesurées selon deux modalités : en ferme et en laboratoire. Les effectifs pour chaque méthode sont renseignés dans le Tableau 17.

En ferme, pour chaque prise de sang jugulaire réalisée, une goutte de sang total était directement appliquée sur la bandelette de lecteurs portables FreeStyle® Optium NEO (Abbott) (domaine de mesure 0,0 – 8,0 mmol/L). Les valeurs ont été consignées manuellement et validées par confrontation aux extractions des enregistrements des lecteurs, avant d'être incorporées au fichier de données. Par la suite, une sélection aléatoire d'échantillons (n= 143) de plasma hépariné (conservés à -80°C) stratifiée sur toute la gamme des valeurs obtenues par les lecteurs FreeStyle® Optium NEO a été envoyée au laboratoire IODOLAB (Rhône – 69, France). La concentration en BHB a été évaluée par colorimétrie sur réaction enzymatique en point final (domaine de mesure : 0,01 – 6,4 mmol/L).

II.4.1.2. Dosage des AGNE

Les concentrations en AGNE sanguins ont été mesurées selon deux modalités : méthode « flash » à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse et en laboratoire. Les effectifs pour chaque méthode sont renseignés dans le Tableau 18.

A l'ENVT, les mesures ont été réalisées à l'aide d'un kit de dosage par colorimétrie enzymatique développé par Instruchemie® (référence : 3055) sur échantillons de plasma hépariné (conservés à -80°C). Les concentrations en AGNE ont été mesurées à une longueur d'onde 546 nm par un lecteur de microplaque à fluorescence (FLUOstar® Omega, BMG Labtech) (domaine de mesure : > 0,008 mmol/L).

En parallèle, une sélection d'échantillons (n= 128) de plasma hépariné (conservés à -80°C) stratifiée sur toute la gamme des valeurs obtenues par la méthode « flash » a été envoyée au laboratoire IODOLAB (Rhône – 69, France). La concentration en AGNE a été évaluée par colorimétrie sur réaction enzymatique en point final (domaine de mesure : 0,1 – 6,0 mmol/L).

II.4.2. Composition du lait

Les analyses par spectrométrie moyen infra-rouge (MIR) des échantillons de lait ont été réalisées par Agrolabs aux LIAL de Auch (Gers – 32, France) pour les élevages des Pyrénées Atlantiques et d'Aurillac (Cantal – 15, France) pour les élevages du Rayon de Roquefort. Les analyses ont été conduites dans un délai maximal de 48 heures après prélèvement en ferme, avec conservation au froid positif (+4°C) des échantillons.

Il était prévu que les données brutes de spectre MIR, une fois standardisées, soient utilisées pour prédire la composition fines du lait selon les équations spécifiques aux ovins établies dans le cadre du programme PHENOFINLAIT (Gelé et al. 2014). Malheureusement, ces résultats n'étaient disponibles que pour les échantillons recueillis lors du 1^{er} contrôle laitier (hormis pour l'EPLEFPA La Cazotte (CA)), qui ont suivi un circuit d'information très balisé. Les échantillons recueillis en allaitement-traite étant en dehors du circuit de traitement habituel (celui associé au contrôle laitier officiel), les résultats des prédictions n'ont pas pu être obtenus lors de la rédaction de ce manuscrit.

Nous avons donc utilisé les résultats directement produits par les LIAL d'Aurillac et d'Auch, qui fournissent en routine la composition en quelques composants du lait, à partir des équations de prédiction prévues pour les bovins. Même si ces équations conduisent à des estimations erronées des concentrations réelles pour le lait de brebis (Gelé et al. 2014), ces erreurs sont systématiques pour l'ensemble des échantillons analysés et n'empêchent pas la mise en relation des valeurs obtenues avec les autres indicateurs du bilan énergétique. Les composants du lait ainsi prédits étaient : le C4:0, C6:0 ; C8:0, C10:0, C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, sommes des C18:1, le C18:3n3, les Acides Gras Insaturés Totaux, les Acides Gras Monoinsaturés et Polyinsaturés, les Acides Gras totaux, la Matière Grasse et la Matière Protéique. Pour les Pyrénées Atlantiques, les concentrations prédites en C18:1c9 étaient aussi disponibles.

II.5. Analyses des données

II.5.1. Base de données

L'ensemble des données a été implémenté dans une base de données informatisée. Toutes les analyses ont été effectuées en utilisant le logiciel statistique R (v4.2.1, R Core Team 2022). La manipulation et l'analyse des données a été facilitée par l'utilisation des bibliothèques *dplyr*, *broom.mixed*, *lubridate*, *openxlsx*, *stringr*, *purrr*. La visualisation des données a été facilitée par l'utilisation des bibliothèques *ggplot2*, *ggpubr*, *RColorBrewer*.

II.5.2. *Analyses statistiques*

Les analyses statistiques ont été menées en privilégiant l'utilisation de test non-paramétriques car les faibles effectifs de certains groupes ne permettent pas de satisfaire la condition de normalité des distributions. Le seuil de significativité a été fixé au seuil de risque alpha de 0,05.

Les corrélations entre deux valeurs ont été évaluées par le coefficient de corrélation de Spearman. Les comparaisons deux à deux entre les valeurs de BHB et d'AGNE mesurées à différentes périodes ou entre différents groupes ont été réalisées par des tests des rangs de Wilcoxon (pour données appariées si nécessaire). Les comparaisons multiples ont été réalisées à l'aide de tests de Tukey (fonction `HSD.test()` – librairie *agricolae*) appliqué à différents modèles de régression linéaire simples.

Des modèles de régression linéaire (fonction `glmmTMB` – librairie *glmmTMB*) ont été utilisés pour caractériser les liens entre les variations de note d'état corporel et les indicateurs métaboliques sanguins (BHB et AGNE) ou les données de production et de composition du lait. Différentes fonctions ont permis de vérifier les hypothèses des modèles (fonction `check_model()` – librairie *performance*), d'obtenir les tableaux d'analyse de variance (fonction `Anova()` – librairie *car*), les moyennes marginales et les différences marginales entre groupes (fonction `emmeans` – librairie *emmeans*). Les comparaisons multiples ont été réalisées à l'aide de tests de Tukey.

II.5.3. *Principes de construction des modèles de régression linéaire mixtes*

Tous les modèles utilisés se déclinent à partir de l'exemple suivant :

$$X_{ij} \sim \text{VariationNEC}_{ij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE}_{ij} + (1 \mid \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$$

Avec :

- **i** la brebis (individu) de l'élevage **j**
- **X** : variable réponse :
 - o **métabolites sanguins** : BHB (mmol/L) et AGNE (mmol/L),
 - o **composition du lait** : matière grasse (MG, g/L), matière protéique (MP, g/L), acides gras totaux (AGtot = 0,95 x MG, g/L), teneur individuelle (% des AGtot) des acides gras (saturés : pairs de C2:0 à C18:0 ; insaturés : C18:1 totaux, C18:1c9, C18:3n3), teneur totale (% des AGtot) des acides gras monoinsaturés (MONOUNFA), polyinsaturés (POLYUNFA), insaturés totaux (TOTALUNFA) et saturés totaux (SATFA) et deux ratios d'intérêt selon Dórea, et al. (2017) :

C18:1/C14:0, C18:1/(C4:0+C6:0+C8:0+C10:0+C12:0) ainsi que le rapport MG/MP.

- **production laitière** : écart à la moyenne (%) intra-troupeau et intra-rang de lactation de la production laitière de référence à 50 (LAIR50) et 160 jours (LAIR160) ;
- **VariationNEC** : variable explicative correspondant à la variation de NEC ($\Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2}$, $\Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3}$ et $\Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3}$) incluse sous forme de variable continue ou catégorielle
- **Variables à effets fixes** :
 - **RANG** : rang de lactation, exprimé en variable catégorielle de niveaux « 1 », « 2 » (référence) et « 3 et + » ;
 - **PORTEE** : taille de la portée, exprimée en variable catégorielle de niveaux « 1 », « 2 » (référence) et « 3 et + » ;
 - **DEMI-JOURNEE** : demi-journée (du prélèvement de lait ou de sang), exprimée en variable catégorielle de niveaux « MATIN » ou « APRES-MIDI » ;
 - **JEL** : jour en lait (du prélèvement de lait ou de sang) corrigé par le jour en lait moyen par période et un facteur 10 (de telle sorte qu'un écart d'une unité corresponde à une variation de 10 jours), exprimé en variable continue soit :
 - en allaitement-traite : $(\text{JEL} - 25) / 10$,
 - au premier contrôle laitier : $(\text{JEL} - 50) / 10$;
- **Effet aléatoire : (1 | ELEVAGE)** : élevage de la brebis considérée.

Les variations de NEC entre les différentes dates ont été incluses sous forme de variable continue ou de variable catégorielle (avec regroupement des valeurs les plus extrêmes pour permettre l'obtention de groupes à effectifs suffisants).

L'adéquation des modèles aux données a été évaluée par le critère d'information d'Akaike (AIC), permettant de faire un choix entre la forme continue ou catégorielle de la variable associée à la variation de NEC. La variabilité des résultats observés selon les variables réponses n'a pas permis de privilégier un mode d'expression de cette variable « VariationNEC ».

Pour toutes les variables réponses concernées, les modèles ont été déclinés avec ou sans la prise en compte de l'effet fixe relatif à la demi-journée de prélèvement. Le meilleur modèle a été choisi par comparaison des AIC.

Les effets fixes associés aux jours en lait ne concernaient pas les modèles pour lesquels la variable explicative était LAIR50 ou LAIR160, car ces valeurs sont déjà corrigées pour la durée de la lactation.

II.6.Implication personnelle

J'ai participé à la quasi-totalité des chantiers de prélèvements (sauf rares exceptions dues à des incompatibilités avec mon planning d'étudiante), au sein des 8 fermes commerciales et de l'EPLEFPA La Cazotte pour les campagnes 2020 et 2021.

Par la suite, j'ai pu ponctuellement assurer des missions de soutien logistique relatives à l'identification et la conservation des échantillons. J'ai contribué activement aux activités de laboratoire permettant le dosage des AGNE sanguins par la méthode « flash » à l'ENVT.

Enfin, j'ai poursuivi les analyses statistiques des données collectées, précédemment initiées dans le cadre d'une publication 3R (Corbiere et al. 2022).

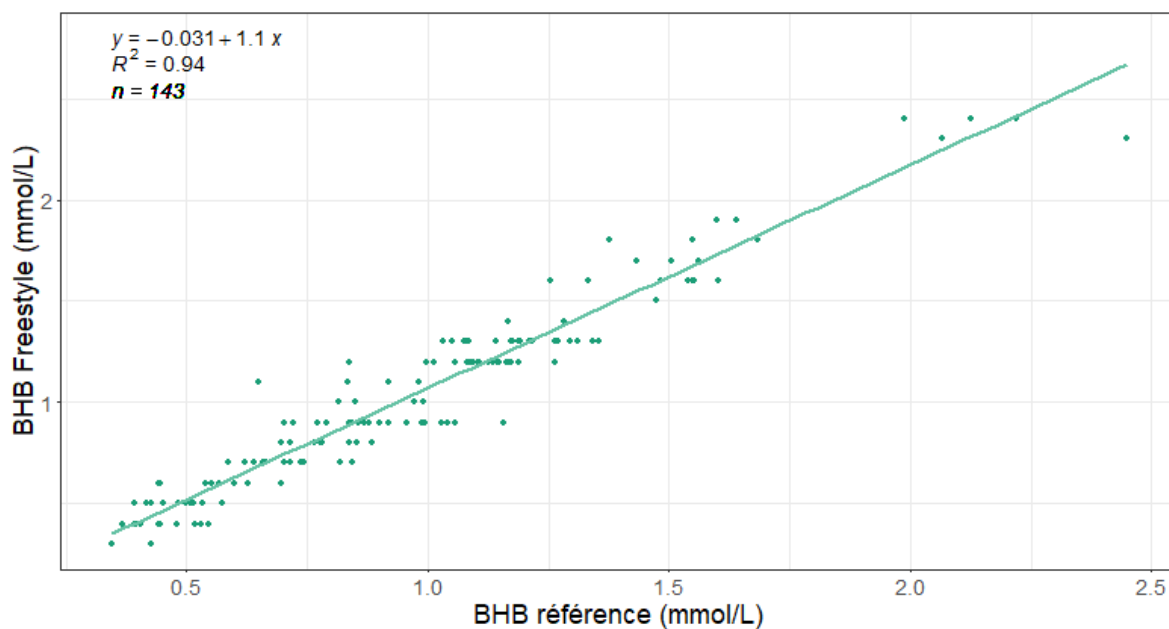


Figure 10 – Corrélations entre les concentrations de BHB sanguin selon la méthode de mesure utilisée Avec « BHB référence » la concentration sur plasma hépariné obtenue par colorimétrie sur réaction enzymatique en point finale par le laboratoire IODOLAB (Rhône, 69 – France) et « BHB Freestyle » la concentration sur sang total obtenue par utilisation du lecteur Freestyle® Optium NEO

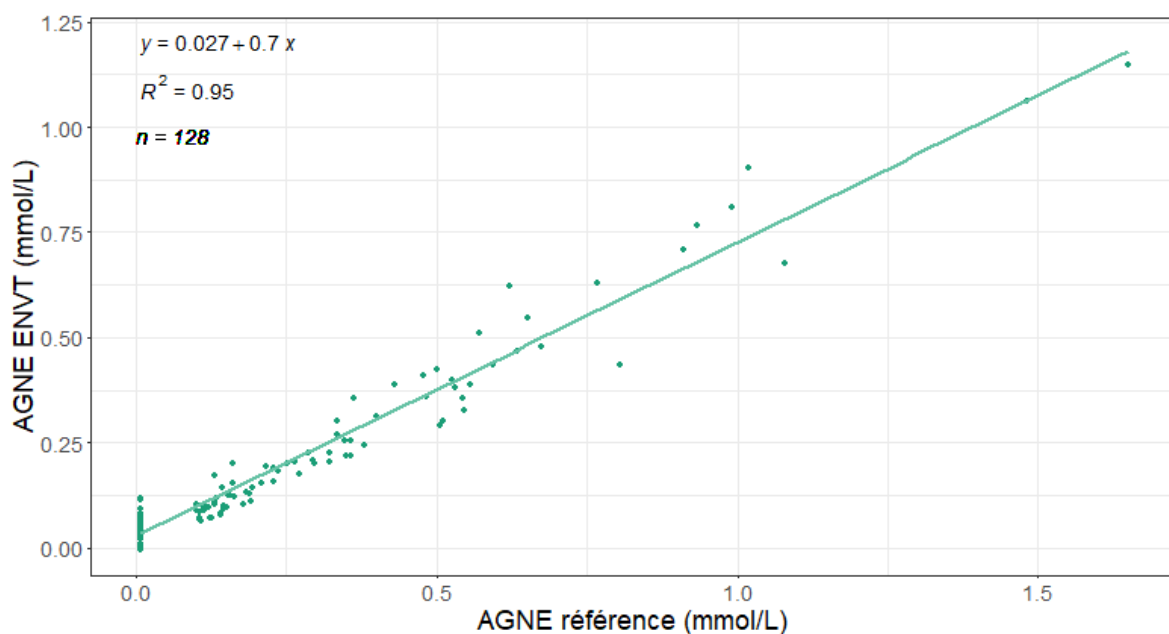


Figure 11 – Corrélations entre les concentrations des AGNE sanguins selon la méthode de mesure utilisée Avec « AGNE référence » la concentration sur plasma hépariné obtenue par colorimétrie sur réaction enzymatique en point finale par le laboratoire IODOLAB (Rhône, 69 – France) et « AGNE ENVT » la concentration sur plasma hépariné obtenue par utilisation du kit de dosage par colorimétrie enzymatique développée par Instruchemie® (réf. : 3055)

III. RESULTATS

III.1. Validation des méthodes de mesures utilisées

Afin de valider les méthodes utilisées pour mesurer les concentrations en BHB et AGNE sanguins des comparaisons ont été faites avec les résultats obtenus par le laboratoire IODOLAB (Rhône, 69 – France) sur une sélection d'échantillons de la campagne 2021.

III.1.1. Utilisation du lecteur Freestyle® Optium NEO pour la mesure des concentrations en BHB sanguin

Les résultats sont présentés dans la Figure 10. On obtient une forte corrélation ($r^2 = 0.94$) linéaire entre les mesures obtenues par la méthode de référence (IODOLAB) et celles obtenues par utilisation du lecteur Freestyle® Optium NEO directement en ferme.

Une légère surestimation (de l'ordre de 10%) de la concentration en BHB sanguin obtenue par le lecteur portatif est observée.

III.1.2. Utilisation du kit de dosage par colorimétrie enzymatique Instruchemie® pour la mesure des concentrations en AGNE sanguins

Les résultats sont présentés dans la Figure 11. Il existe une forte corrélation ($r^2 = 0.95$) linéaire entre les mesures obtenues par la méthode de référence (IODOLAB) et les mesures obtenues par la méthode ENVT (Instruchemie®).

Cependant, les résultats obtenus par la méthode ENVT sont nettement sous-estimés (de l'ordre de 30%) par comparaison aux résultats de la méthode de référence.

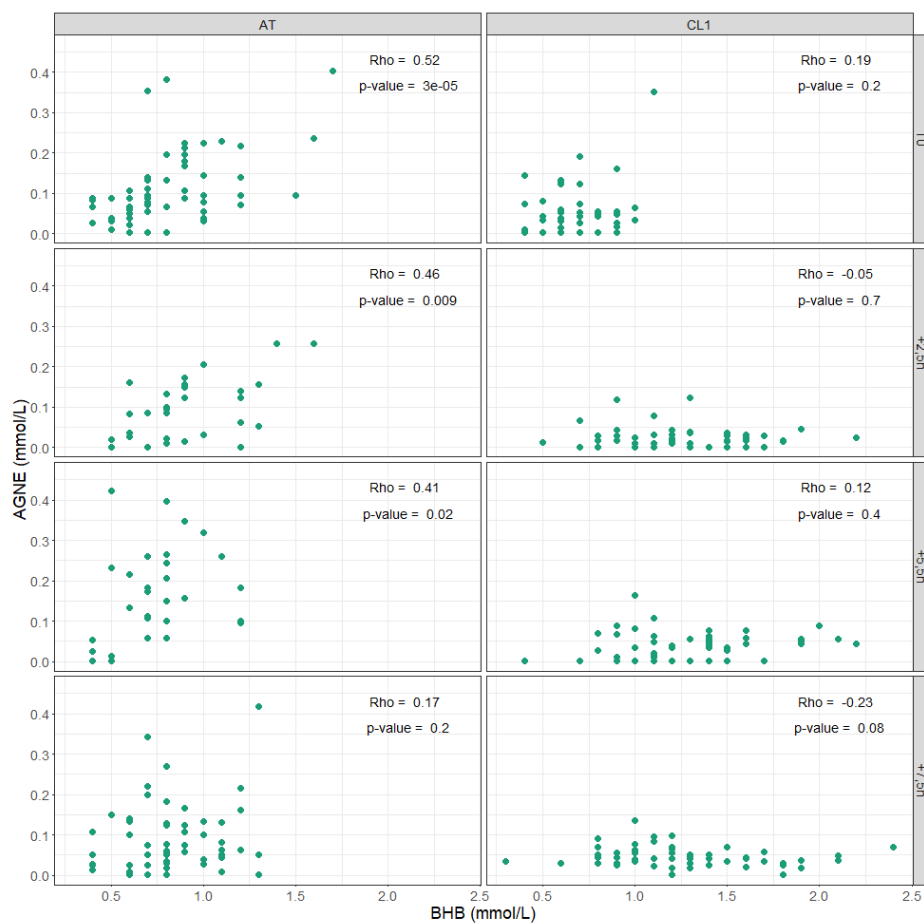


Figure 12 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguines mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)

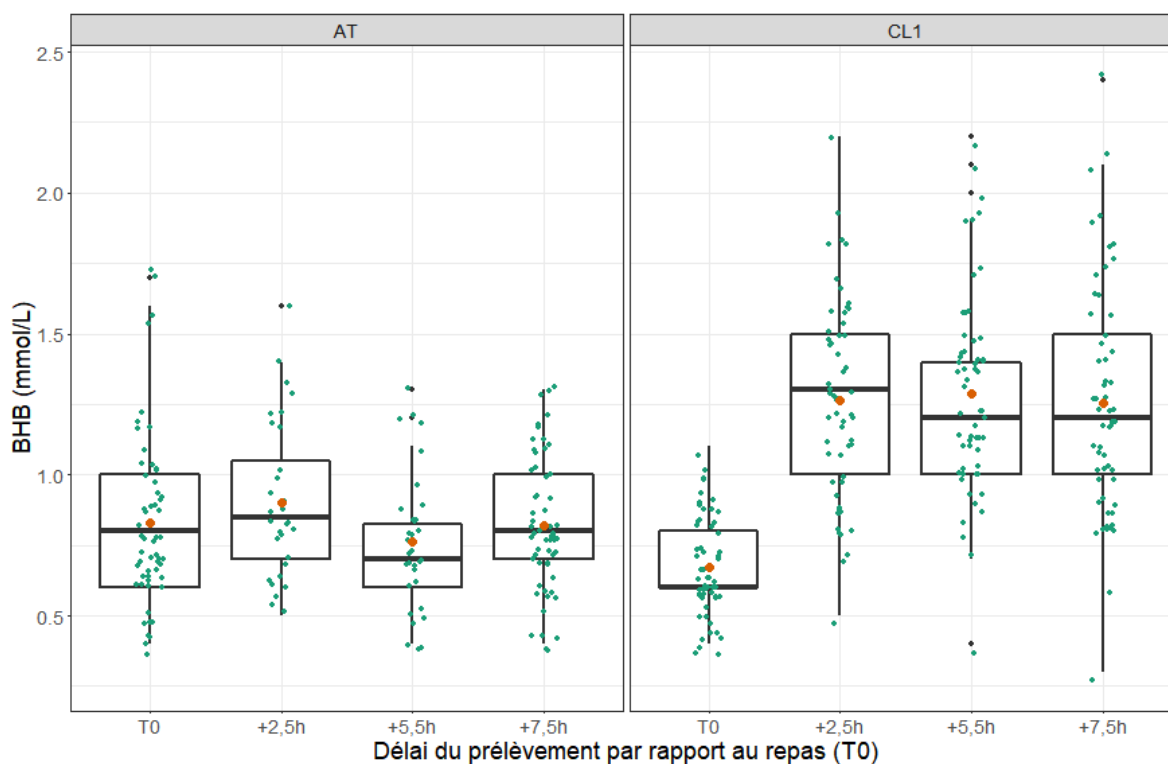


Figure 13 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)

III.2. Cinétique journalière des BHB et des AGNE sanguins

Les données traitées sont issues des prélèvements sanguins de la campagne 2022. Pour rappel, les prélèvements ont concerné un total 58 brebis de race Lacaune issues de l'élevage « CA » du bassin Roquefort.

III.2.1. Corrélation entre les valeurs de concentration en BHB et AGNE sanguins mesurées au cours de la journée

Les résultats sont présentés dans la Figure 12. En période d'allaitement-traite, les valeurs de BHB et d'AGNE sont faiblement à modérément mais significativement corrélées (T0 : $r=0,52$ et $p=3 \times 10^{-5}$; T0+2,5h : $r=0.46$ et $p=0.009$; T0+5,5h : $r=0.41$ et $p=0.02$) sauf à T0 + 7,5 heures. En revanche, aucune corrélation significative entre ces deux paramètres n'a pu être mise en évidence pour le premier contrôle laitier.

III.2.2. Cinétique journalière du BHB sanguin

III.2.2.1. Distribution des concentrations en BHB mesurées

La distribution des valeurs individuelles de concentrations en BHB sanguin sont présentées dans la Figure 13.

Durant la période d'allaitement-traite, les valeurs médianes des concentrations sanguines en BHB sont restées relativement stable au cours de la journée : entre 0,7 mmol/L et 0,85 mmol/L. Cependant, les valeurs de BHB mesurées sont dispersées entre 0,4 et 1,7 mmol/L (soit une étendue de 1,3 mmol/L), soulignant une importante variabilité inter-individuelle à chaque période de mesure.

Lors du premier contrôle laitier, la valeur médiane au moment du repas (T0) est de 0,6 mmol/L. A T0, les valeurs de BHB mesurées sont comprises entre 0,4 et 1,1 mmol/L (soit une étendue de 0,7 mmol/L). On observe une augmentation des concentrations en BHB sanguin à partir de T0 + 2h30 qui se stabilisent jusqu'à T0 + 7h30, avec des valeurs médianes comprises entre 1,2 et 1,3 mmol/L. Les valeurs individuelles varient entre 0,3 et 2,2 mmol/L (soit une étendue de 1,9 mmol/L), montrant à nouveau une importante variation entre les individus.

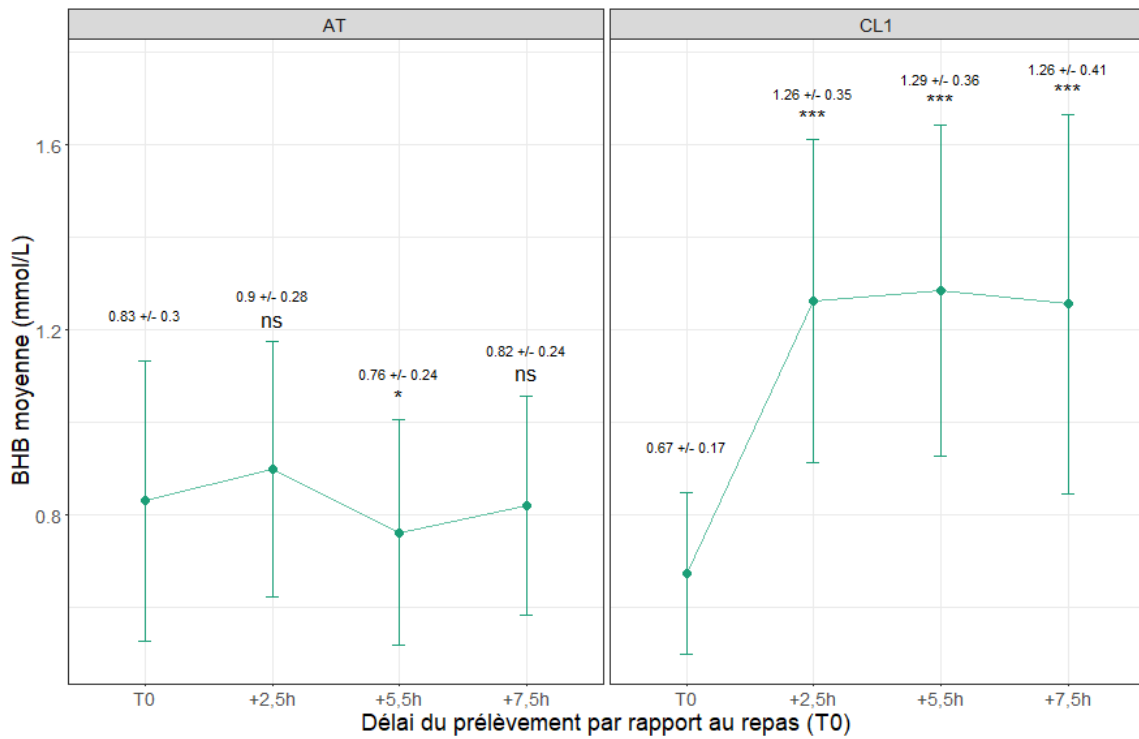


Figure 14 – Cinétique journalière (selon le délai par rapport au repas) des concentrations moyennes (+/- écart-type) en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)
 ns : non-significatif ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (par rapport à T0)

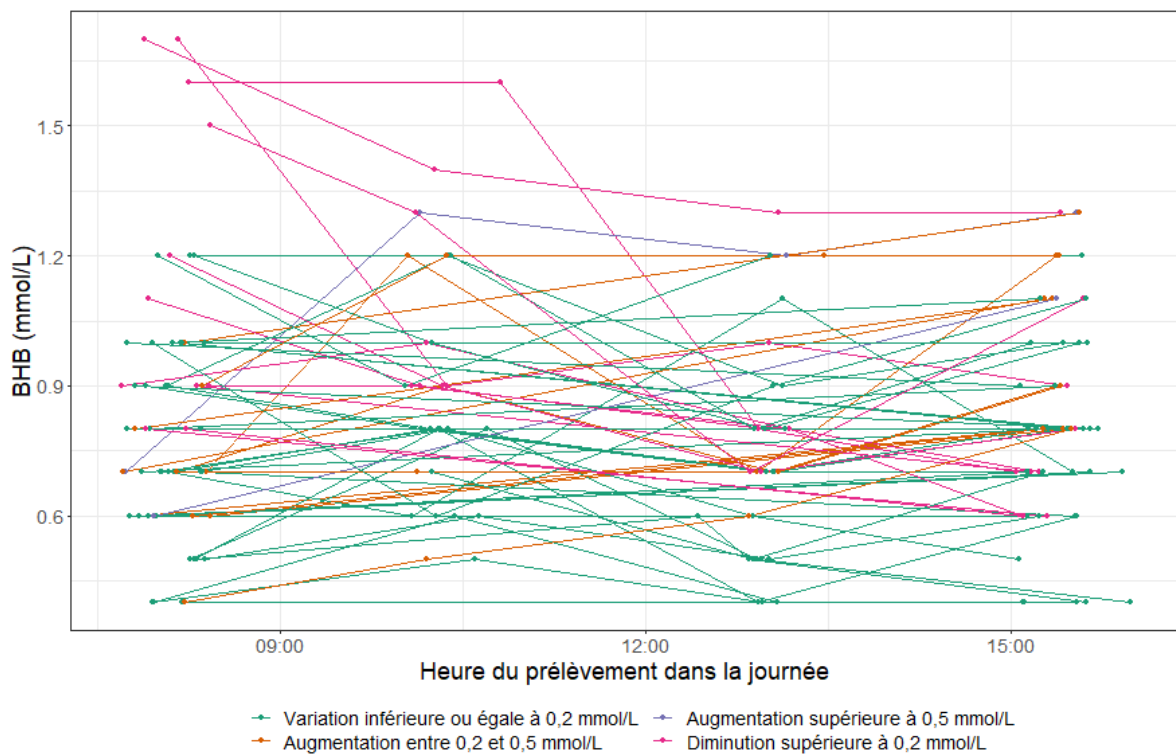


Figure 15 – Profils de variation individuelle des concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traité (AT)

III.2.2.2. *Cinétiques moyennes des concentrations en BHB mesurées*

Les concentrations moyennes en BHB suivent une tendance intéressante à décrire. Ces dernières sont représentées dans la Figure 14.

Concernant la période d'allaitement-traite, les concentrations sanguines moyennes ont faiblement varié, entre 0,76 +/- 0,24 mmol/L et 0,90 +/- 0,28 mmol/L. On souligne néanmoins une diminution significative ($p < 0,05$) de la concentration moyenne en BHB (par rapport à T0) 5,5 heures après le repas.

La tendance est différente pour le premier contrôle laitier : à T0 la concentration moyenne en BHB sanguin s'élève à 0,67 +/- 0,17 mmol/L. A partir de T0 + 2,5 heures la concentration moyenne augmente significativement ($p < 0,001$) pour se stabiliser jusqu'à 7,5 heures après le repas avec une valeur moyenne de 1,26 +/- 0,41 mmol/L (aucune différence significative entre 2,5 et 7,5 heures après le repas).

III.2.2.3. *Cinétiques individuelles des concentrations en BHB mesurées*

Les profils cinétiques individuels sont présentés dans la Figure 15 pour la période d'allaitement-traite et la Figure 16 pour le premier contrôle laitier. Afin de faciliter la lecture des résultats, des groupes ont été établis en se basant sur la différence entre les valeurs de BHB sanguin mesurées au moment du repas (T0) et 7,5 heures après.

- Période d'allaitement-traite : les profils individuels sont très variés (Figure 15).

Toutefois, on souligne une nette prédominance du profil pour lequel les variations entre T0 et T0 + 7,5 heures sont inférieures à 0,2 mmol/L avec 58,6% (soit 34/58) des brebis concernées. 22,4% (soit 13/58) des brebis ont des concentrations en BHB sanguin qui subissent une augmentation entre T0 et T0 + 7,5 heures, comprenant 11 brebis ayant une augmentation entre 0,2 et 0,5 mmol/L et 2 brebis avec une augmentation supérieure à 0,5 mmol/L. 19,0% (soit 11/58) des brebis ont des concentrations en BHB sanguin diminuant de plus de 0,2 mmol/L.

- Premier contrôle laitier : les profils individuels (Figure 16) sont globalement moins variés qu'en période d'allaitement-traite. 85,9% (soit 49/57) des profils de variation de BHB sont concernés par une augmentation des concentrations en BHB sanguin entre T0 et T0 + 7,5 heures.

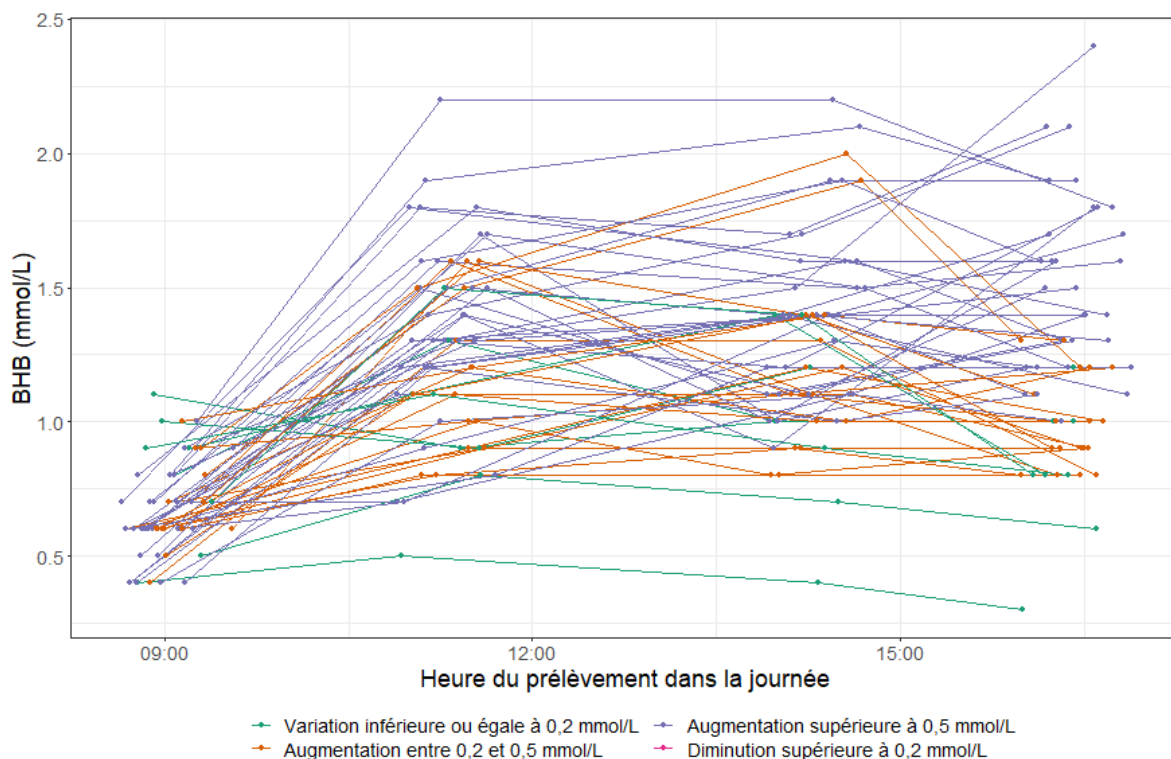


Figure 16 – Profils de variation individuelle des concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h au premier contrôle laitier (CL1)

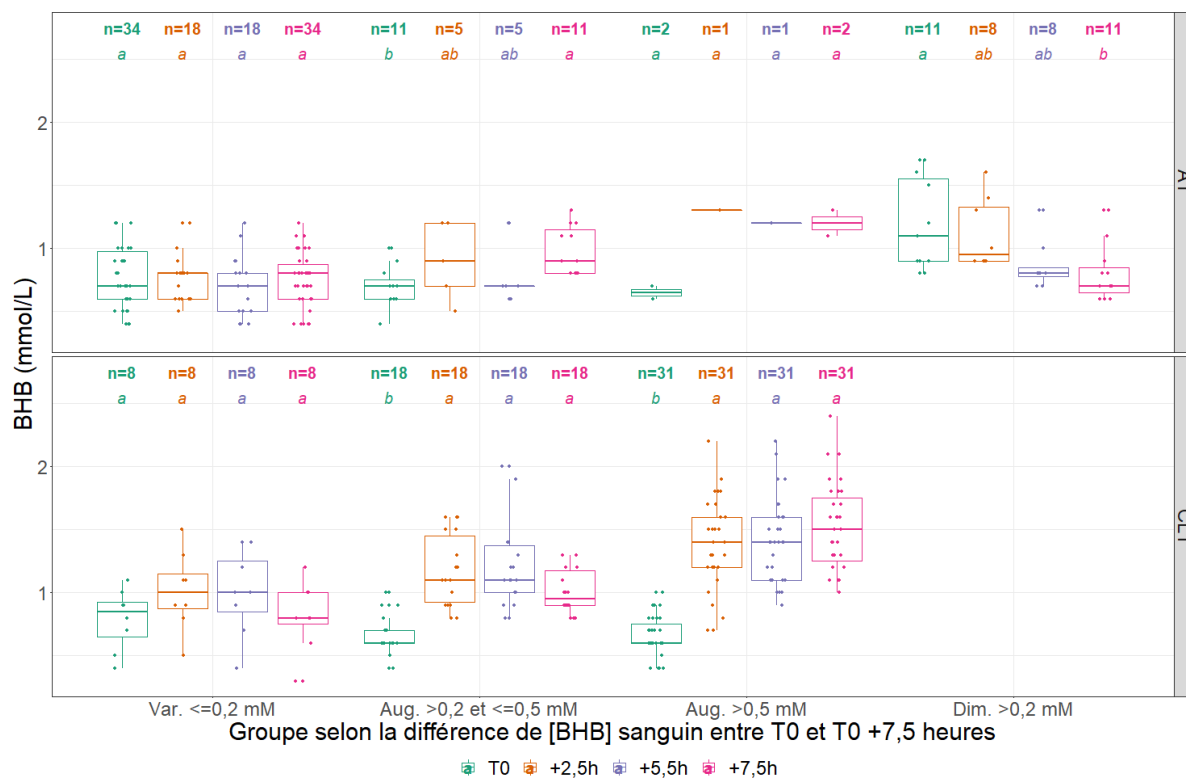


Figure 17 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – variation au sein des profils
 « Var. $\leq 0,2$ mM » : Variation inférieure ou égale à 0,2 mmol/L ; « Aug. $>0,2$ et $\leq 0,5$ mM » : Augmentation comprise entre 0,2 et 0,5 mmol/L ; « Aug. $>0,5$ mM » : Augmentation supérieure à 0,5 mmol/L ; « Dim. $>0,2$ mM » : Diminution supérieure à 0,2 mmol/L. « n » caractérise les effectifs associés à chaque groupe. « a » et « b » sont utilisées pour désigner des groupes tels que « a » et « b » sont significativement différents pour une p-value $< 0,05$ selon le test de comparaison multiple de Tukey appliqué pour chaque profil de variation au modèle BHB-DELAI_REPAS avec « BHB » : concentration en BHB en mmol/L et DELAI_REPAS le délai par rapport au repas (T0).

Les profils prédominants sont ceux pour lesquels l'augmentation est supérieure à 0,5 mmol/L et concernent 54,3% (soit 31/57) des brebis. 31,6% (soit 18/57) des brebis présentent une augmentation des concentrations en BHB sanguin entre 0,2 et 0,5 mmol/L. Les 8 dernières brebis présentent une variation entre T0 et T0 + 7,5 heures inférieures à 0,2 mmol/L.

III.2.2.4. Description des profils cinétiques des concentrations en BHB mesurées

On s'intéresse désormais aux distributions des valeurs de concentrations en BHB sanguin au sein des quatre profils de variation tels qu'ils ont été définis précédemment.

- Cinétique des concentrations en BHB au sein des quatre profils de variation : la Figure 17 présente la distribution des valeurs de BHB à chaque temps de mesure au sein de chaque profil.

Concernant les brebis appartenant au profil dont la variation de concentration en BHB sanguin est inférieure à 0,2 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures : aucune variation significative n'est observée entre les quatre temps de mesure, les concentrations en BHB sanguin restent stables tout au long de la journée en allaitement-traite avec des valeurs médianes entre 0,7 et 0,8 mmol/L et au premier contrôle laitier avec des valeurs médianes entre 0,8 et 1,0 mmol/L.

Les brebis présentant une variation des concentrations en BHB sanguin entre 0,2 et 0,5 mmol/L montrent en période d'allaitement-traite une augmentation progressive des concentrations au cours de la journée, avec une différence significative ($p < 0,05$) seulement entre T0 et T0 + 7,5 heures. Au premier contrôle laitier la dynamique est différente : à T0 la médiane est de 0,7 mmol/L ; puis on observe dès T0+2,5 heures une augmentation significative ($p < 0,05$) des concentrations en BHB qui restent élevées jusqu'à T0 + 7,5 heures avec des valeurs médianes comprises entre 1,0 et 1,2 mmol/L.

Cette dynamique est similaire pour les brebis présentant une augmentation supérieure à 0,5 mmol/L au premier contrôle laitier avec une valeur médiane à T0 de 0,7 mmol/L et des valeurs médianes comprises entre 1,2 et 1,3 mmol/L par la suite. Le faible effectif ($n=2$) des brebis s'inscrivant dans ce profil en période d'allaitement-traite rendent les résultats difficilement interprétables pour cette période de mesure.

Enfin, les brebis présentant une diminution de leur concentration en BHB sanguin supérieure à 0,2 mmol/L montrent une diminution progressive au cours de la journée, avec une différence significative ($p < 0,05$) seulement entre T0 et T0 + 7,5 heures.

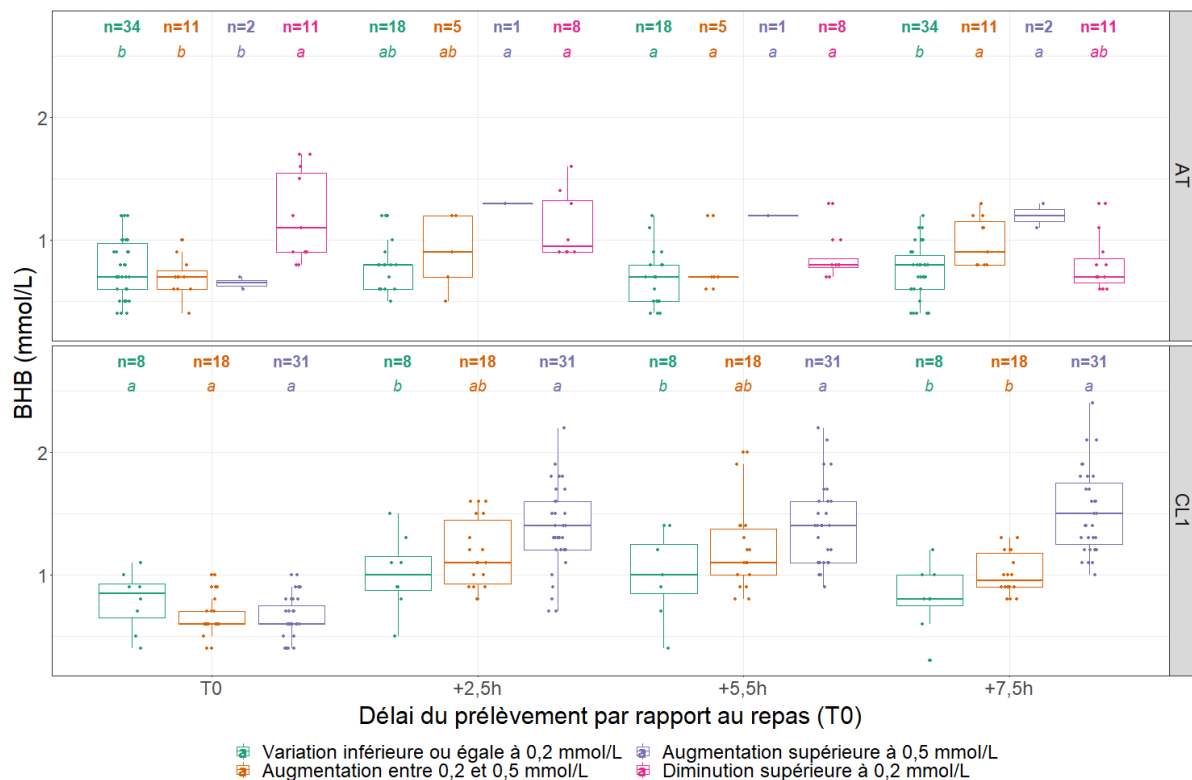


Figure 18 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – comparaison entre les profils « n » caractérise les effectifs associés à chaque groupe. « a » et « b » sont utilisés pour désigner des groupes tels que « a » et « b » sont significativement différents pour une p-value < 0,05 selon le test de comparaison multiple de Tukey appliqué pour chaque temps de mesure au modèle BHB~Groupe0_75_BHB avec « BHB » : concentration en BHB en mmol/L et Groupe0_75_BHB le profil de variation entre T0 et T0 + 7,5 heures.

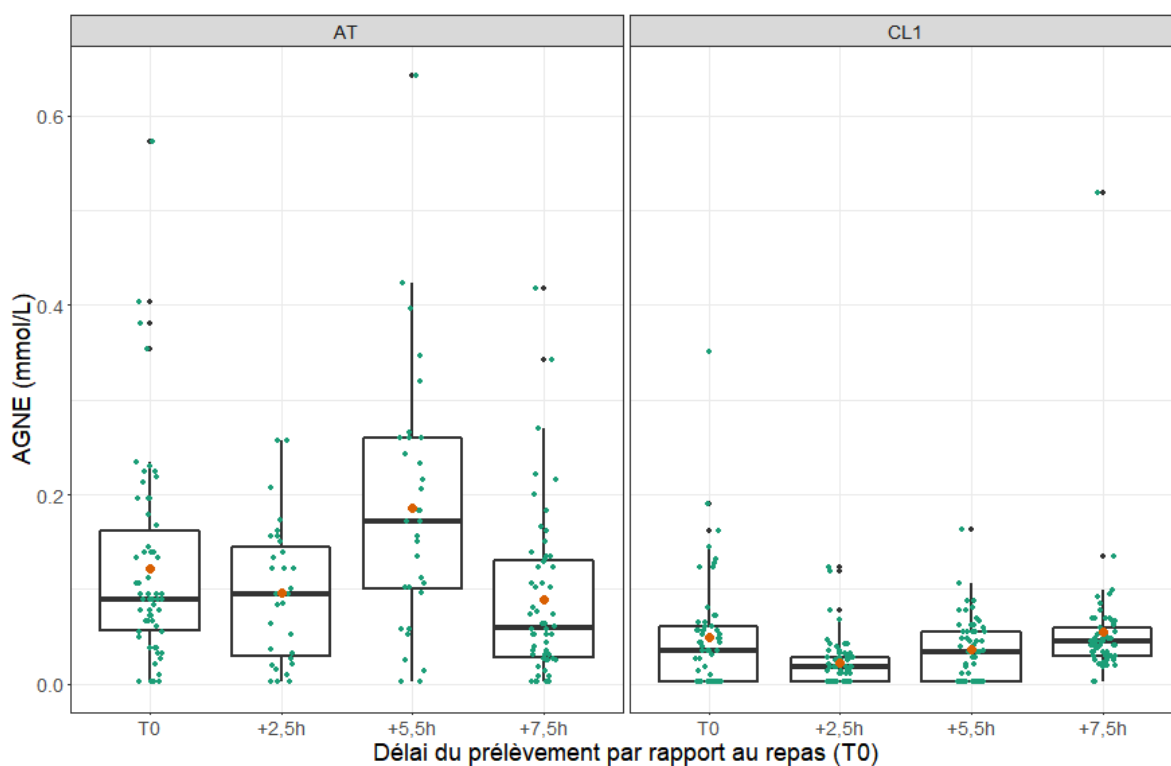


Figure 19 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)

- Comparaison des concentrations en BHB entre les quatre profils de variation : la Figure 18 présente une comparaison à chaque instant de mesure entre les profils.

En période d'allaitement-traite, les brebis présentant une diminution de leur concentration en BHB sanguin supérieure à 0,2 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures présentent des concentrations initiales significativement supérieures ($p < 0,05$) aux autres groupes. Les brebis présentant une augmentation de leur concentration en BHB sanguin supérieure à 0,2 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures présentent des concentrations finales significativement supérieures ($p < 0,05$) aux brebis ne présentant pas de variation supérieure à 0,2 mmol/L (en revanche, aucune différence significative avec les valeurs observées pour les brebis dont la concentration diminue).

Lors du premier contrôle laitier, les concentrations initiales en BHB sont homogènes entre tous les groupes. Les brebis appartenant au profil ayant une augmentation supérieure à 0,5 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures ont des valeurs de BHB sanguin significativement ($p < 0,05$) plus élevées que celles du groupe sans variation supérieure à 0,2 mmol/L dès T0 + 2,5 heures et maintenues jusqu'à T0 + 7,5 heures. Ces valeurs sont mêmes significativement plus élevées que celles du groupe subissant une augmentation entre 0,2 et 0,5 mmol/L à T0 + 7,5 heures. Par ailleurs, aucune différence significative n'est mise en évidence entre les profils sans variation supérieure à 0,2 mmol/L et celui subissant une augmentation entre 0,2 et 0,5 mmol/L tout au long de la période de mesure.

III.2.3. Cinétique journalière des AGNE sanguins

III.2.3.1. Distribution des concentrations en AGNE mesurées

La Figure 19 permet d'apprécier la distribution des valeurs individuelles de concentrations en AGNE sanguins.

Durant la période d'allaitement-traite, les valeurs médianes des concentrations sanguines en AGNE ont faiblement varié au cours de la journée et sont plus élevées que celles mesurées au premier contrôle laitier. Elles varient entre 0,06 et 0,17 mmol/L. Les valeurs mesurées sont dispersées entre 0,008 (seuil de quantification – remarque : n = 15 valeurs étaient inférieures au seuil de quantification) et 0,63 mmol/L (soit une étendue de 0,64 mmol/L). Une très forte variabilité inter-individuelle est observée pour les mesures réalisées 5,5 heures après le repas.

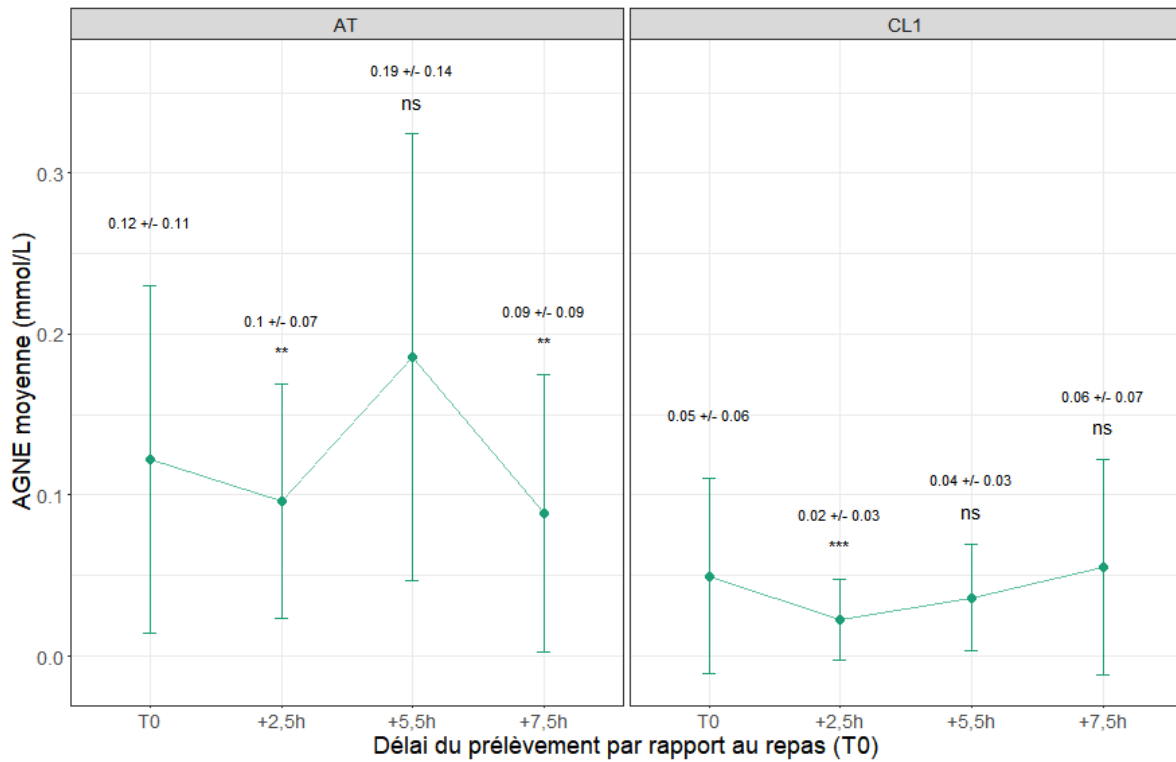


Figure 20 – Cinétique journalière (selon le délai par rapport au repas) des concentrations moyennes (+/- écart-type) en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)
 ns : non-significatif ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (par rapport à T0)

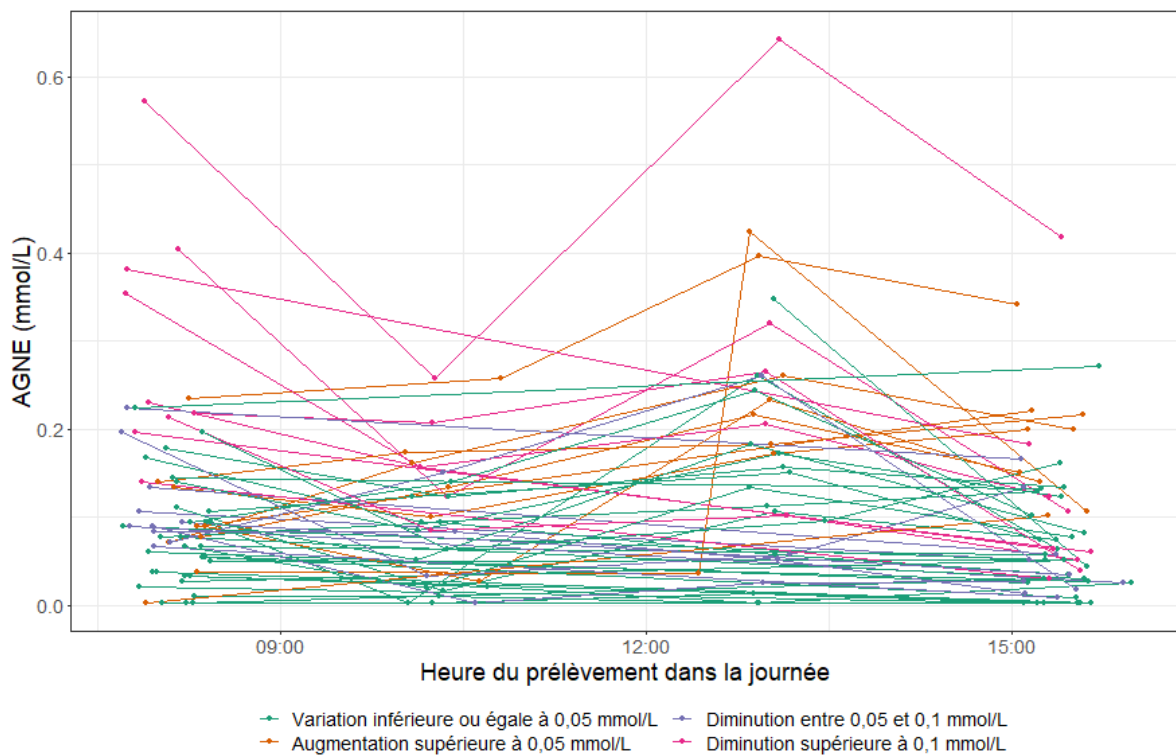


Figure 21 – Profils de variation individuelle des concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traite (AT)

Lors du premier contrôle laitier, les valeurs médianes de concentrations sanguines en AGNE se situent entre 0,02 et 0,03 mmol/L avec des valeurs extrêmes comprises entre 0,008 (avec 54 valeurs inférieures à ce seuil de quantification) et 0,52 mmol/L (soit une étendue de 0,51 mmol/L).

En s'intéressant aux premier et troisième quartiles (afin d'atténuer l'étirement par les valeurs extrêmes), on constate que la variabilité individuelle est beaucoup plus faible au premier contrôle laitier par comparaison à la période d'allaitement-traite.

III.2.3.2. Cinétiques moyennes des concentrations en AGNE mesurées

En s'intéressant ici aux concentrations moyennes en AGNE sanguins, présentées dans la Figure 20, une cinétique journalière peut être décrite.

Au cours de la période d'allaitement-traite, la concentration moyenne en AGNE mesurée à T0 est de l'ordre de 0,12 +/- 0,11 mmol/L. On observe ensuite une diminution significative ($p < 0,01$) de la concentration en AGNE dès 2,5 heures après le repas et maintenue 7,5 heures après (avec respectivement 0,10 +/- 0,07 mmol/L et 0,09 +/- 0,09 mmol/L). A T0 + 5,5 heures, on observe une tendance à la hausse : cette dernière n'est pas significative par rapport à T0 ; en revanche elle est significative ($p < 0,001$) par rapport à T0 + 2,5 heures et T0 + 7,5 heures.

Le premier contrôle laitier présente quant à lui une cinétique différente. La valeur moyenne initiale est de 0,05 +/- 0,06 mmol/L. On observe ensuite une baisse significative (toutes les p-value deux à deux sont inférieures à 0,002) de la concentration en AGNE sanguins 2,5 heures après le repas à 0,02 +/- 0,03 mmol/L, suivie par un retour aux valeurs basales dès T0 + 5,5 heures.

III.2.3.3. Cinétiques individuelles des concentrations en AGNE mesurées

Les profils cinétiques individuels sont présentés dans la Figure 21 pour la période d'allaitement-traite et la Figure 22 pour le premier contrôle laitier. Afin de faciliter la lecture des résultats, des groupes ont été établis en se basant sur la différence entre les valeurs des AGNE sanguins mesurées au moment du repas (T0) et 7,5 heures après.

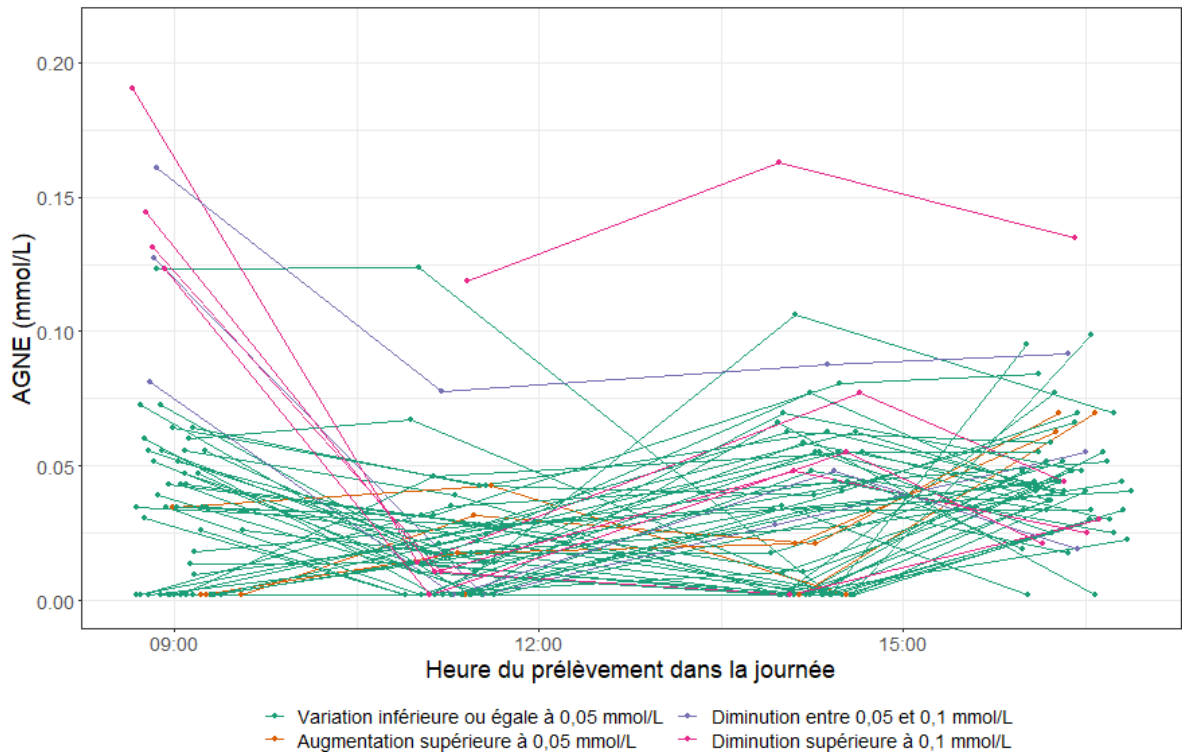


Figure 22 – Profils de variation individuelle des concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h au premier contrôle laitier (CL1)
n=2 valeurs supérieures à 0,21 mmol/L ne sont pas représentées.

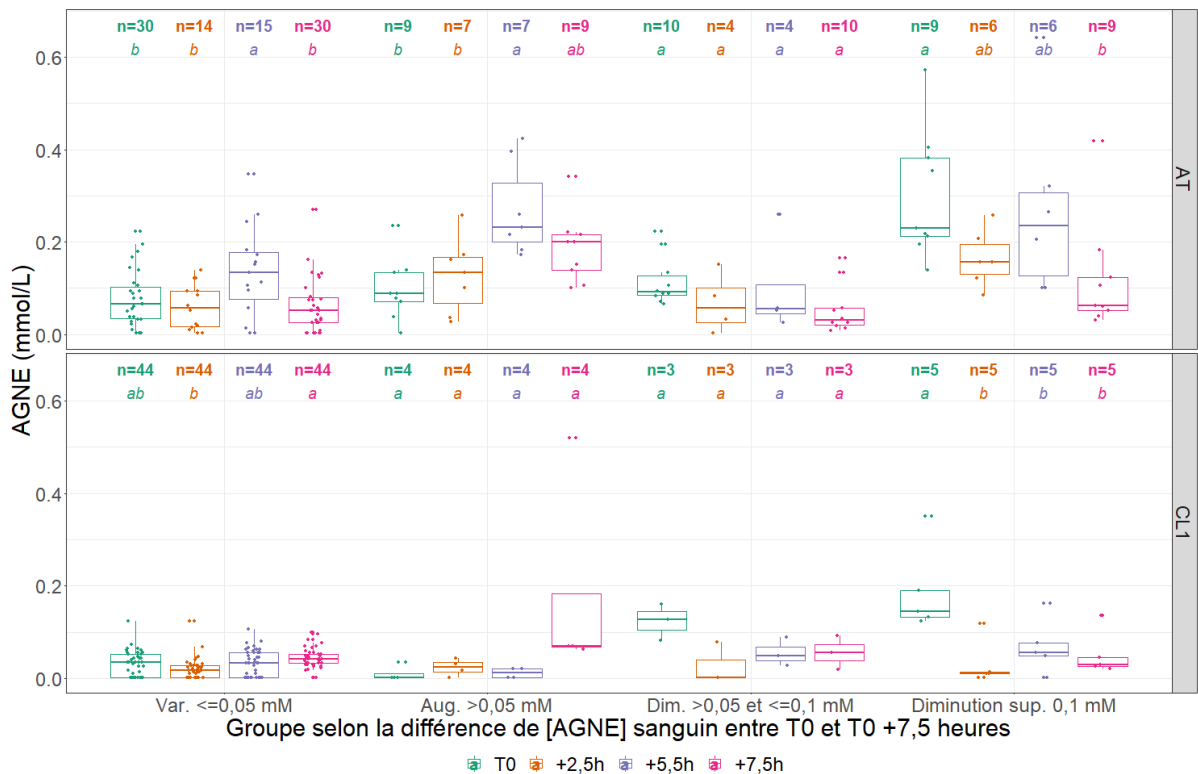


Figure 23 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – variation au sein des profils
 « Var. $\leq 0,05$ mM » : Variation inférieure ou égale à 0,05 mmol/L ; « Aug. $> 0,05$ mM » : Augmentation supérieure à 0,05 mmol/L ; « Dim. $> 0,05$ et $\leq 0,1$ mM » : Diminution comprise entre 0,05 et 0,1 mmol/L ; « Dim. $> 0,1$ mM » : Diminution supérieure à 0,1 mmol/L. « n » caractérise les effectifs associés à chaque groupe. « a » et « b » sont utilisées pour désigner des groupes tels que « a » et « b » sont significativement différents pour une p-value $< 0,05$ selon le test de comparaison multiple de Tukey appliqué pour chaque profil de variation au modèle AGNE-DELAI_REPAS avec « AGNE » : concentration en AGNE en mmol/L et DELAI_REPAS le délai par rapport au repas (T0).

- Période d'allaitement-traite : les profils individuels sont variés (Figure 21).

Néanmoins, le profil pour lequel les variations entre T0 et T0 + 7,5 heures sont inférieures à 0,05 mmol/L prédomine avec 51,7% (soit 30/58) des brebis concernées. 32,7% (soit 19/58) des brebis ont des concentrations en AGNE sanguins qui subissent une diminution entre T0 et T0 + 7,5 heures, avec 10 brebis dont la diminution est comprise entre 0,05 et 0,1 mmol/L et 9 brebis pour lesquelles la diminution est supérieure à 0,1 mmol/L. Enfin 15,5% (soit 9/58) des brebis présentent une augmentation des concentrations en AGNE sanguins entre les deux points extrêmes de mesure.

- Premier contrôle laitier : les profils individuels (Figure 22) sont un peu moins variés qu'en période d'allaitement-traite. 78,6% (soit 44/56) des profils de variation des AGNE ne présentent pas de variation supérieure à 0,05 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures.

Les brebis restantes se répartissent de la manière suivante : 14,3% (soit 8/56) sont concernées par une diminution de la concentration en AGNE sanguins, entre 0,05 et 0,1 mmol/L pour 3 brebis et supérieure à 0,1 mmol/L pour 5 autres. 7,1% (soit 4/56) des brebis présentent une augmentation des teneurs en AGNE supérieure à 0,05 mmol/L.

III.2.3.4. *Description des profils cinétiques des concentrations en AGNE mesurées*

On s'intéresse maintenant aux distributions des valeurs de concentrations en AGNE sanguins au sein des quatre profils de variation tels qu'ils ont été définis précédemment.

- Cinétique des concentrations en AGNE au sein des quatre profils de variation : la Figure 23 présente la distribution des valeurs des AGNE à chaque temps de mesure au sein de chaque profil.

En période d'allaitement-traite, les brebis appartenant au profil dont la variation de concentration en AGNE sanguins est inférieure à 0,05 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures présentent des concentrations stables avec des valeurs médianes comprises entre 0,05 et 0,07 mmol/L à l'exception d'un pic significatif ($p < 0,05$) à T0+5,5 heures avec une valeur médiane de 0,13 mmol/L. Au premier contrôle laitier, on retrouve à nouveau des valeurs relativement stables avec des valeurs médianes comprises entre 0,02 et 0,04 mmol/L. Cependant, à T0 + 2,5 heures les valeurs sont légèrement inférieures et à T0 + 7,5 heures légèrement supérieures aux valeurs basales ce qui génère une différence significative ($p < 0,05$) entre ces deux points de mesure.

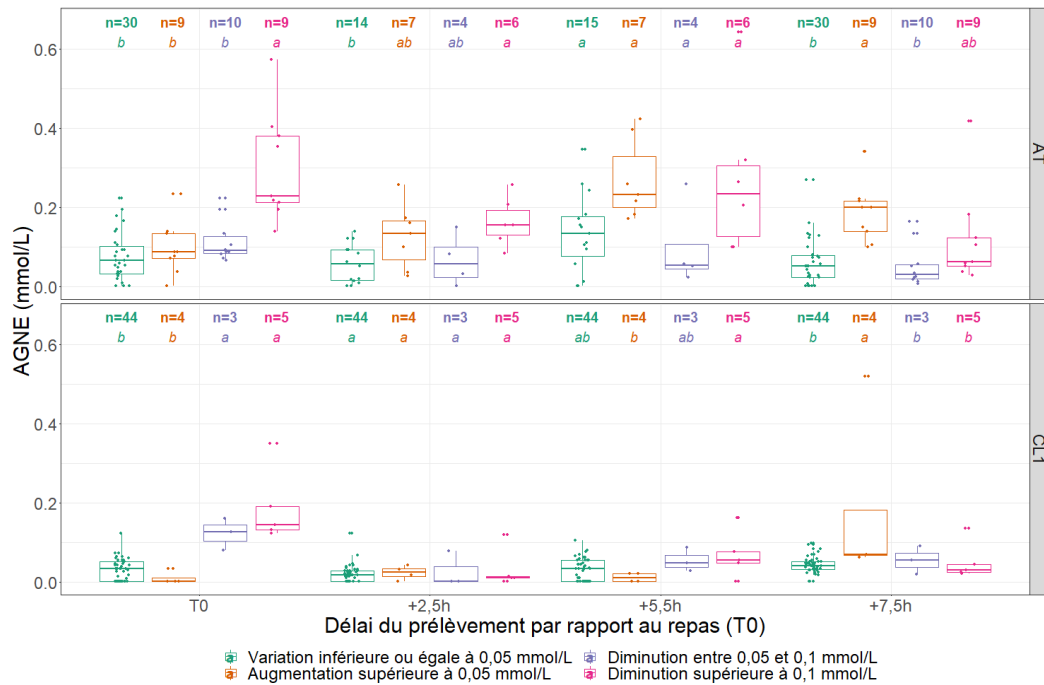


Figure 24 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins mesurées pour le suivi cinétique journalier (selon le délai par rapport au repas) et selon le profil de variation entre T0 et T0+7,5h en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) – comparaison entre les profils « n » caractérise les effectifs associés à chaque groupe. « a » et « b » sont utilisés pour désigner des groupes tels que « a » et « b » sont significativement différents pour une p-value < 0,05 selon le test de comparaison multiple de Tukey appliqué pour chaque temps de mesure au modèle $AGNE \sim Groupe0_75_AGNE$ avec « AGNE » : concentration en AGNE en mmol/L et $Groupe0_75_AGNE$ le profil de variation entre T0 et T0 + 7,5 heures.

Pour les 3 autres profils, les effectifs sont relativement faibles (entre 3 et 10 brebis selon le groupe de variation), par conséquent les interprétations sont restreintes et doivent être considérées avec précautions.

Les brebis appartenant au groupe dont la variation est une augmentation de la concentration en AGNE sanguins supérieure à 0,05 mmol/L présentent une hausse significative ($p < 0,05$) à T0 + 5,5 heures en période d'allaitement-traite, non maintenue à T0 + 7,5 heures. Au premier contrôle laitier, la hausse semble intervenir plus tardivement à T0 + 7,5 heures, mais cette dernière n'est pas significative au seuil de 5%.

Aucune variation significative n'est observée pour les brebis appartenant au groupe pour lequel la concentration diminue entre 0,05 et 0,1 mmol/L.

Enfin, les profils subissant une diminution supérieure à 0,1 mmol/L diffèrent selon la période considérée : en allaitement traite, la diminution est progressive et n'est significative ($p < 0,05$) qu'entre T0 et T0 + 7,5 heures ; tandis qu'au premier contrôle laitier la diminution est significative ($p < 0,05$) dès T0 + 2,5 heures et maintenue jusqu'à T0 + 7,5 heures.

- Comparaison des concentrations en AGNE entre les quatre profils de variation : la Figure 24 présente une comparaison à chaque instant de mesure entre les profils. A nouveau, les faibles effectifs impliquent une certaine prudence dans les interprétations.

En période d'allaitement-traite, les brebis présentant une diminution de leur concentration en AGNE sanguins supérieure à 0,1 mmol/L entre T0 et T0 + 7,5 heures présentent des concentrations initiales significativement supérieures ($p < 0,05$) aux autres groupes. A T0 + 2,5 heures ces valeurs restent supérieures à celles observées uniquement dans le groupe dont la variation est inférieure ou égale à 0,05 mmol/L. A T0 + 5,5 heures, aucune différence n'est faite entre les 4 profils. Enfin à T0 + 7,5 heures, ce sont les valeurs du groupe ayant subi une augmentation supérieure à 0,05 mmol/L qui sont significativement ($p < 0,05$) supérieures à celles du groupe dont la variation est inférieure ou égale à 0,5 mmol/L.

Au premier contrôle laitier, les concentrations initiales en AGNE sont réparties en deux groupes : des valeurs basses pour les brebis présentant par la suite une variation inférieure à 0,05 mmol/L et celles présentant une augmentation supérieure à 0,05 mmol/L et des valeurs significativement ($p < 0,05$) plus élevées pour les brebis dont les concentrations diminuent. A T0 + 7,5 heures les brebis ayant présenté une augmentation supérieure à 0,5 mmol/L se distinguent avec des teneurs significativement ($p < 0,05$) plus élevées que les trois autres profils qui ne se distinguent plus.

III.2.4. Conclusion partielle – cinétique des BHB et AGNE sanguins

En période d'allaitement-traite, une corrélation est mise en évidence entre ces deux indicateurs. En revanche, aucune corrélation n'a été montrée pour le premier contrôle laitier.

III.2.4.1. Cinétique journalière du BHB sanguin

La cinétique journalière du BHB sanguin est caractérisée par une forte variabilité inter-individuelle, au sein de laquelle il est possible d'identifier des profils de variation.

Cette variabilité est d'autant plus marquée en période d'allaitement-traite (avec environ 60% des brebis ayant des concentrations stables, 20% présentant une augmentation supérieure à 0,2 mmol/L et 20% présentant une diminution supérieure à 0,2 mmol/L) par comparaison avec le premier contrôle laitier (près de 86% des brebis présentent une augmentation supérieure à 0,2 mmol/L tandis que les quelques autres sont stables).

Des tendances se dessinent malgré cette importante variabilité entre individus : en période d'allaitement-traite les concentrations moyennes en BHB sanguin sont stables au cours de la journée (seule une diminution à T0+5,5 heures ($p < 0,05$) est identifiée) ; au premier contrôle laitier, une nette augmentation des concentrations moyenne en BHB sanguin ($p < 0,001$) intervient dès T0+2,5 heures, avec un maintien de ces concentrations jusqu'à T0+7,5 heures.

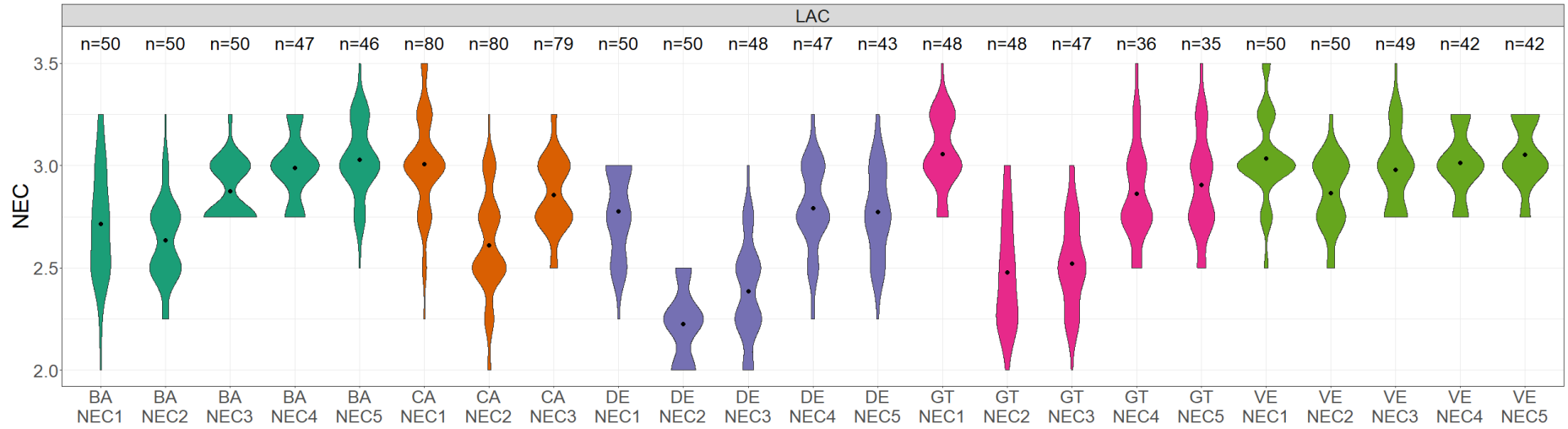
III.2.4.2. Cinétique journalière des AGNE sanguins

La cinétique journalière des AGNE sanguins est caractérisée par une certaine variabilité inter-individuelle, au sein de laquelle il est possible d'identifier des profils de variation. Mais cette variabilité est nettement moins importante que celle observée pour le BHB.

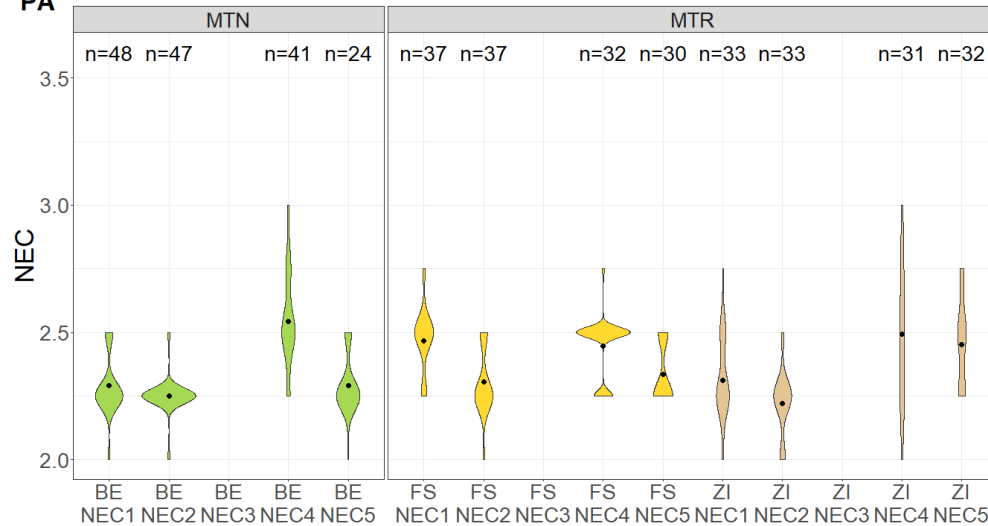
La variabilité est plus importante au cours de l'allaitement-traite avec un tiers des brebis présentant une diminution des concentrations en AGNE et 15% présentant une hausse. Toutefois le profil majoritaire reste celui pour lequel la variation est inférieure à 0,05 mmol/L. Au premier contrôle laitier, ce profil est largement majoritaire avec 86% des brebis concernées.

Les concentrations en AGNE sont plus élevées en période d'allaitement-traite et les cinétiques journalières sont distinctes entre allaitement-traite et premier contrôle laitier. En allaitement-traite, les concentrations moyennes en AGNE fluctuent au cours de la journée avec des valeurs basses à T0 +2,5 heures et T0 +7,5 heures entrecoupées d'un pic à T0 + 5,5 heures. Au premier contrôle laitier, les concentrations moyennes sont moins variables avec une diminution à T0 + 2,5 heures immédiatement suivi d'un retour aux valeurs initiales.

ROQ



PA



Comparaison entre bassin

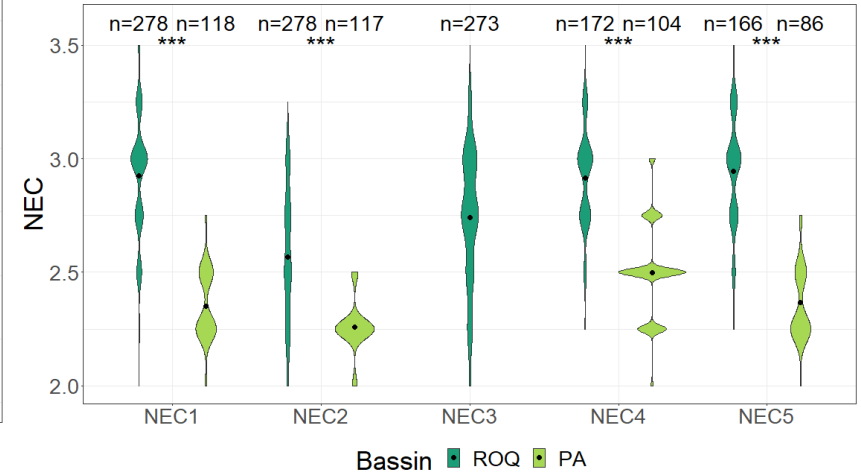


Figure 25 – Distribution des notes d'état corporel selon le bassin, la race et l'élevage et comparaison des distributions entre les deux bassins de production
 Avec n : effectif ; NEC1 : fin de gestation ; NEC2 : allaitement-traité ; NEC3 : premier contrôle laitier ; NEC4 : avant IA ; NEC5 : après IA ; ns : non-significatif ; * p < 0,05 ; ** p < 0,01 ; *** p < 0,001

III.3. Dynamique des réserves corporelles et lien avec les indicateurs métaboliques sanguins ou les données de production et de composition du lait

III.3.1. Description des notes d'état corporel

III.3.1.1. Distribution des notes d'état corporel

La distribution des valeurs individuelles de NEC au sein des différents élevages sont présentées dans la Figure 25.

Cette figure permet dans un premier temps d'apprécier la variation au cours du cycle de production des NEC. Le sujet est développé ultérieurement en s'intéressant à la cinétique des NEC moyennes par bassin et par élevage.

Dans un second temps, elle rend compte à chaque temps de mesure (fin de gestation, allaitement-traite, premier contrôle laitier, avant et après l'IA) de l'importante variabilité des notes d'état corporel.

Dans le bassin Roquefort, les NEC en fin de gestation sont relativement homogènes et se répartissent en deux groupes : élevages « BA » et « DE » (NEC moyennes inférieures à 3) d'une part et élevages « CA », « GT » et « VE » de l'autre. En allaitement-traite et au premier contrôle laitier, les NEC entre élevages sont beaucoup plus hétérogènes, les 5 élevages se répartissent en 4 groupes (l'élevage « BA » présentant des similitudes avec les NEC des élevages « CA » (AT et CL1) et « VE » (CL1 uniquement)). Avant l'insémination artificielle, les NEC se concentrent à nouveau en deux groupes : « BA » et « VE » d'une part et « DE » et « GT » (NEC moyennes inférieures à 3) de l'autre, puis se redispersent à nouveau après l'insémination. Dans les Pyrénées-Atlantiques, les NEC de l'élevage « FS » sont supérieures à celles observées dans les deux autres en fin de gestation. En allaitement-traite l'élevage « BE » présente des NEC intermédiaires aux élevages FS et ZI pour lesquels une différence existe. Avant l'IA toutes les NEC sont homogènes entre les trois élevages. Après l'IA, l'élevage ZI se distinguent par des NEC plus élevées.

A l'échelle du bassin, les notes d'état corporelles recueillies dans les Pyrénées-Atlantiques sont significativement ($p < 0,001$) inférieures à celles obtenues dans le rayon de Roquefort quel que soit le stade du cycle de production. Dans les Pyrénées-Atlantiques, les valeurs médianes ont peu varié entre 2,25 (fin de gestation, allaitement-traite et après l'IA) et 2,5 (avant l'IA), mais la dispersion des valeurs en chaque point diffère.

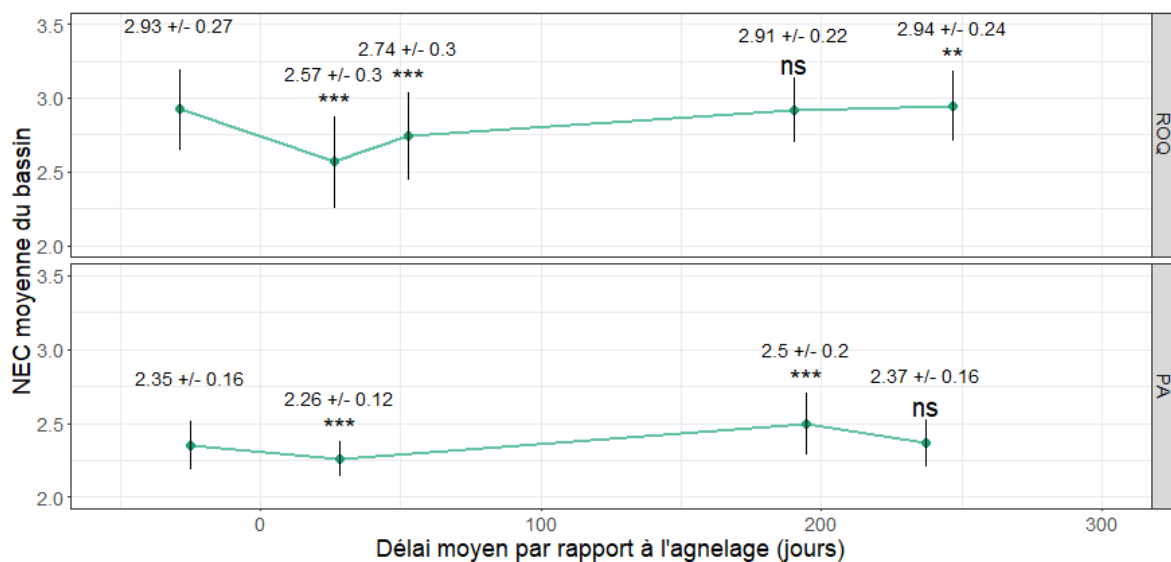


Figure 26 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) par bassin de production
 ns : non-significatif ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (par rapport à la NEC1 : fin de gestation)

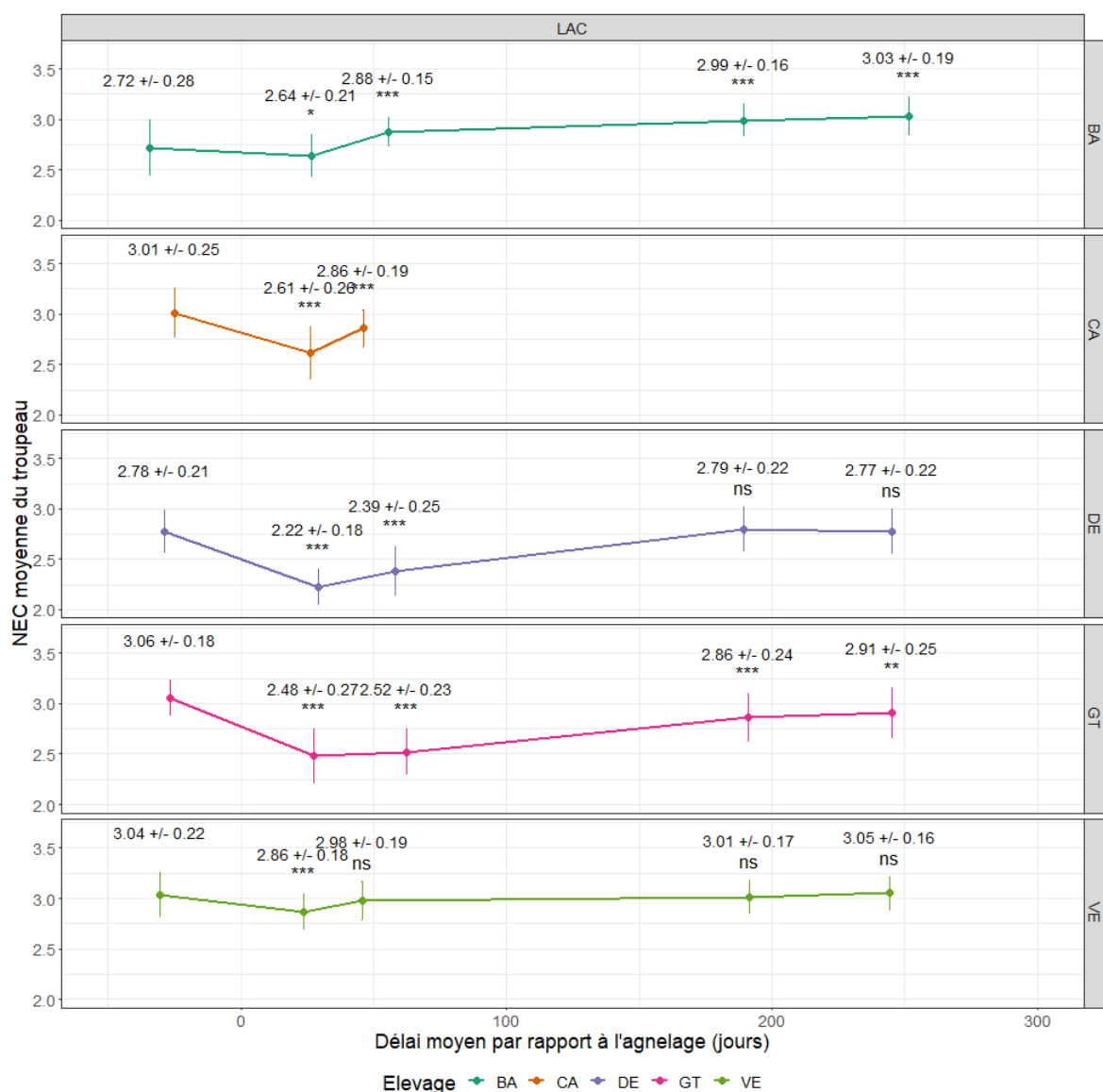


Figure 27 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) au sein des élevages du Rayon de Roquefort
 ns : non-significatif ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (par rapport à la NEC1 : fin de gestation)

Elle est la plus faible en allaitement-traite avec des valeurs comprises entre 2 et 2,5 (soit une étendue de 0,5 point) et est doublée avant l'IA avec des valeurs variant entre 2 et 3 (soit une étendue de 1 point). Dans le rayon de Roquefort, les valeurs médianes ont-elles aussi peu varié entre 2,5 (allaitement-traite), 2,75 (premier contrôle laitier) et 3 (fin de gestation et autour de l'IA). Contrairement au bassin pyrénéen, les valeurs sont fortement dispersées à chaque point de mesure avec des étendues comprises entre 1,25 et 1,5 point, montrant une plus forte variabilité entre les individus.

III.3.1.2. Variation des notes d'état corporel moyennes

La Figure 26 illustre les variations au cours du cycle de production des valeurs de NEC moyennes calculées pour chaque bassin.

Concernant le Rayon de Roquefort, les NEC moyennes varient entre 2,57 +/- 0,3 (en allaitement-traite) et 2,94 +/- 0,24 (après l'IA) (Figure 24). Si on s'intéresse aux variations des notes d'état corporel en prenant pour référence celle mesurée en fin de gestation, on observe une diminution significative ($p < 0,001$) en l'allaitement-traite (perte moyenne par rapport à NEC1 de 0,36 +/- 0,30), suivi d'une légère reprise d'état jusqu'au premier contrôle laitier (gain moyen de 0,17 +/- 0,21 point de NEC, $p < 0,001$). Suite à cela, la NEC augmente pour revenir à la valeur basale avant l'IA.

La Figure 27 détaille les tendances pour les NEC moyennes de chaque élevage en race Lacaune. Tous les élevages présentent une diminution significative ($p < 0,001$ sauf « BA » : $p < 0,05$) de la NEC moyenne entre la fin de gestation et l'allaitement-traite. Elle reste significativement plus basse au premier contrôle laitier pour tous à l'exception de l'élevage « VE ». Autour de l'IA, deux groupes se distinguent : les élevages « DE » et « VE » pour lesquels les NEC reviennent à la valeur initiale et les élevages « BA » et « GT » pour lesquels la NEC moyenne est significativement ($p < 0,001$ sauf NEC5 « GT » : $p < 0,01$) supérieure à la NEC en fin de gestation.

Dans les Pyrénées-Atlantiques, les NEC moyennes varient entre 2,26 +/- 0,12 et 2,50 +/- 0,20. A l'instar des observations faites pour le Rayon de Roquefort, la NEC en allaitement-traite est significativement ($p < 0,001$) inférieure à celle en fin de gestation (perte moyenne par rapport à NEC1 de 0,09 +/- 0,17). Par la suite, la NEC avant IA est significativement ($p < 0,001$) supérieure à la valeur initiale (gain moyen par rapport à NEC2 de 0,24 +/- 0,24) tandis qu'après l'IA aucune différence n'existe avec la NEC en fin de gestation.

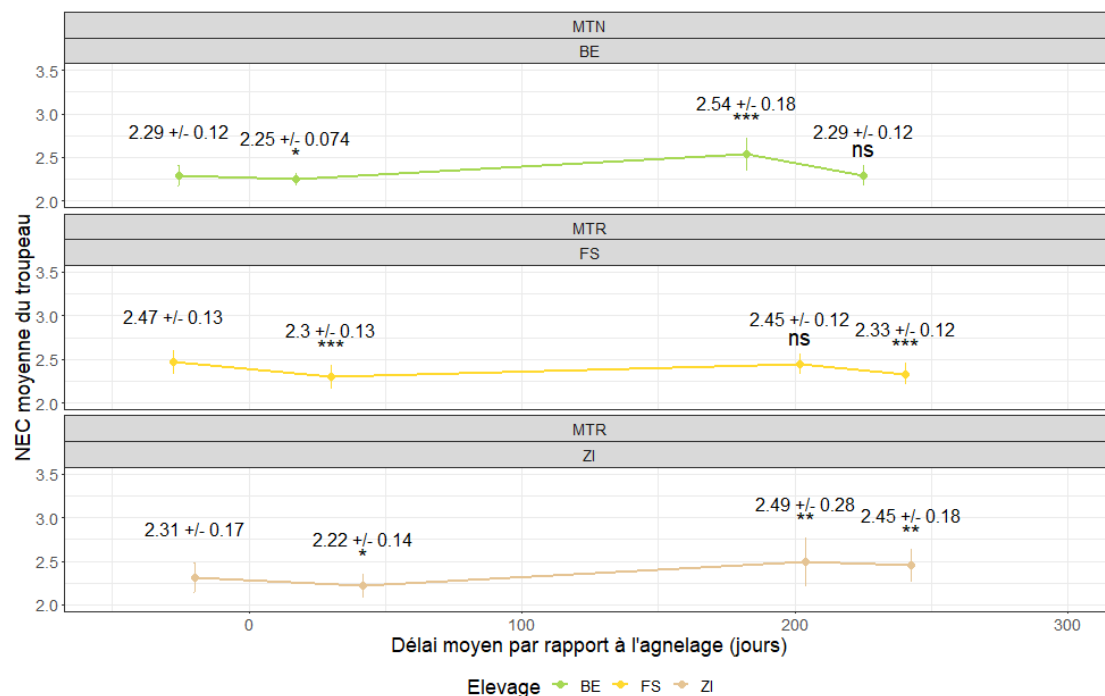


Figure 28 – Evolution des notes d'état corporelles moyennes (+/- écart-type) au sein des élevages des Pyrénées-Atlantiques
 ns : non-significatif ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ (par rapport à la NEC1 : fin de gestation)

BASSIN	NEC	Valeurs de note d'état corporel (%)							Effectif
		2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	
ROQ	1	0,4	1,4	12,9	21,6	43,9	15,8	4,0	278
	2	7,2	20,5	29,5	24,8	16,5	1,4	-	278
	3	2,9	10,3	16,1	35,2	29,3	5,9	0,4	273
PA	1	4,2	54,2	38,1	3,4	-	-	-	118
	2	9,4	77,8	12,8	-	-	-	-	117

Tableau 19 – Répartition des notes d'état corporelles évaluées en fin de gestation (« 1 »), en allaitement-traite (« 2 ») et au premier contrôle laitier (« 3 ») dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques

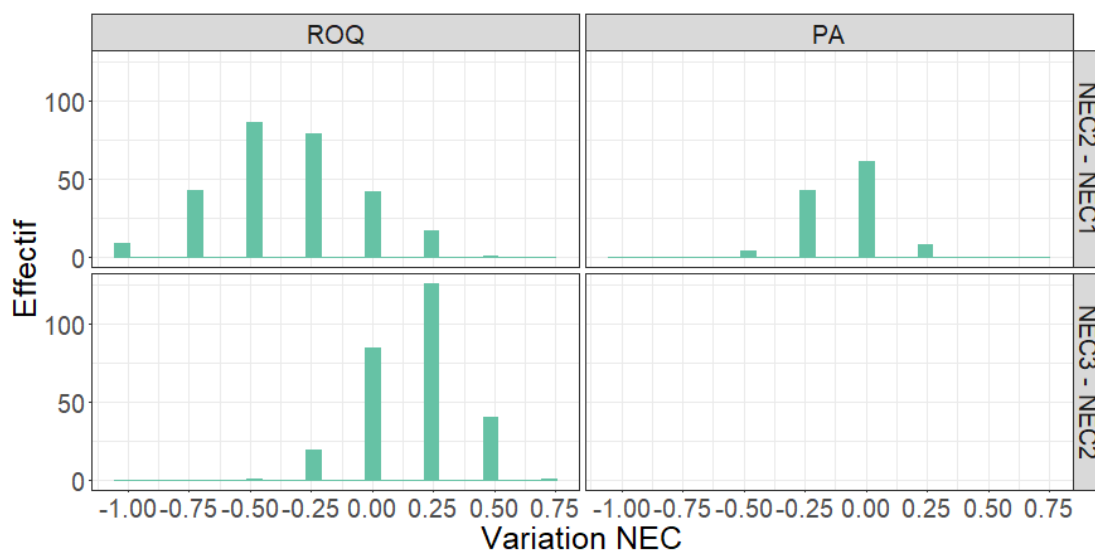


Figure 29 – Distribution des variations de NEC entre fin de gestation et allaitement-traite (« NEC2 – NEC1 ») et entre allaitement-traite et premier contrôle laitier (« NEC3 – NEC2 ») dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques

Le détail par élevage est présenté dans la Figure 28. Comme pour le Rayon de Roquefort, tous les élevages présentent une diminution significative (« FS » : $p < 0,001$; « BE » et « ZI » : $p < 0,05$) de la NEC moyenne entre la fin de gestation et l'allaitement-traite. Par la suite, tous les élevages présentent au moins une NEC autour de l'IA supérieure à celle observée en fin de gestation : avant l'IA pour « BE » ($p < 0,001$), après l'IA pour « FS » ($p < 0,001$) et avant et après l'IA pour « ZI » ($p < 0,01$).

III.3.1.3. *Variation de NEC à l'échelle individuelle*

Les dynamiques de variations sont extrêmement diverses et variées d'une brebis à l'autre. La répartition par bassin des valeurs de NEC évaluées entre la fin de gestation et le premier contrôle laitier est présentée dans le Tableau 19. Dans le Rayon de Roquefort, 81,3% des brebis ont des notes d'état corporel comprises entre 2,75 et 3,25 en fin de gestation. En allaitement-traite, 91,3% des brebis ont des NEC comprises entre 2,25 et 3. Au premier contrôle laitier, 80,6% des brebis présentent une NEC entre 2,5 et 3. Les brebis Pyrénéennes s'illustrent par des NEC plus faibles : la grande majorité des brebis présentent une NEC entre 2,25 et 2,5 que ce soit en fin de gestation (92,3%) ou en allaitement-traite (90,6%).

A l'échelle individuelle, les variations de NEC entre la fin de gestation (NEC_1), l'allaitement-traite (NEC_2) et le 1^{er} contrôle laitier (NEC_3) ont été appréciées en valeurs numériques ($\Delta NEC_{1 \rightarrow 2} = NEC_2 - NEC_1$, $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3} = NEC_3 - NEC_2$, $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3} = NEC_3 - NEC_1$).

Dans les Pyrénées-Atlantiques, la NEC 3 (correspondant au premier contrôle) n'a pas été évaluée. Pour ce bassin de production, l'étude se limite donc à celle du $\Delta NEC_1 - NEC_2$. En revanche, l'étude complète des évolutions de NEC entre la fin de gestation et le premier contrôle laitier est permise pour 271 brebis du Rayon de Roquefort.

La distribution des variations de NEC entre fin de gestation et allaitement-traite puis entre allaitement-traite et premier contrôle laitier (pour le Rayon de Roquefort) est présentée dans la Figure 29. Dans les Pyrénées-Atlantiques, les notes d'état corporel des brebis sont très stables avec 53% des brebis ayant une variation nulle et 37% des brebis avec une perte de 0,25 point seulement. Dans le Rayon de Roquefort, la tendance générale est à la perte d'état entre la fin de gestation et l'allaitement-traite, avec 60% des brebis perdant entre 0,25 et 0,5 point et 19% des brebis perdant plus de 0,5 point de NEC. A contrario, entre l'allaitement-traite et le premier contrôle laitier, la tendance est à la stabilité pour 31% des brebis voire à la reprise d'état pour 61% d'entre elles.

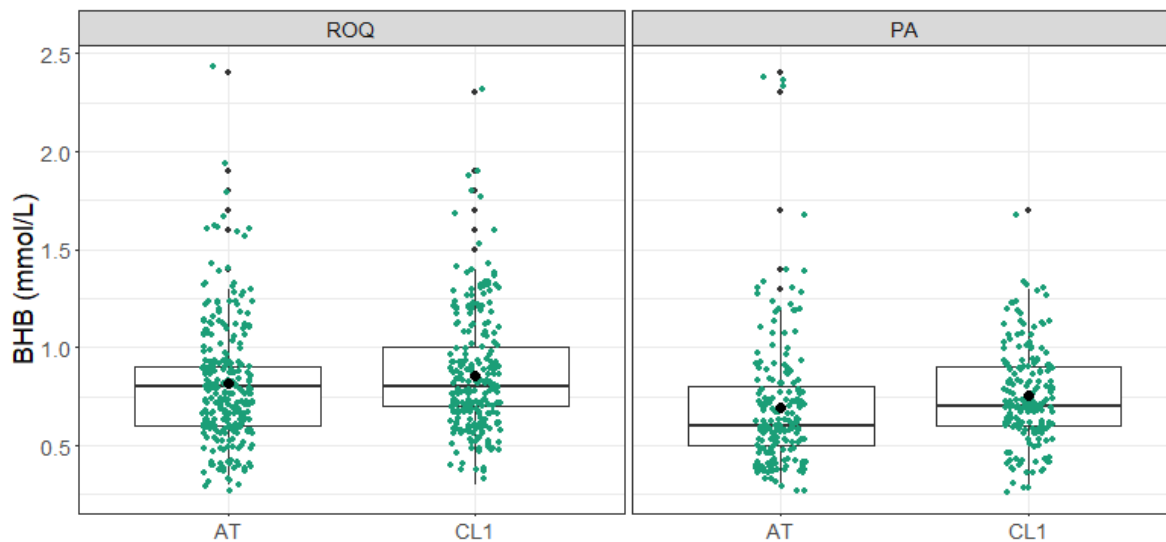


Figure 30 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) selon le bassin

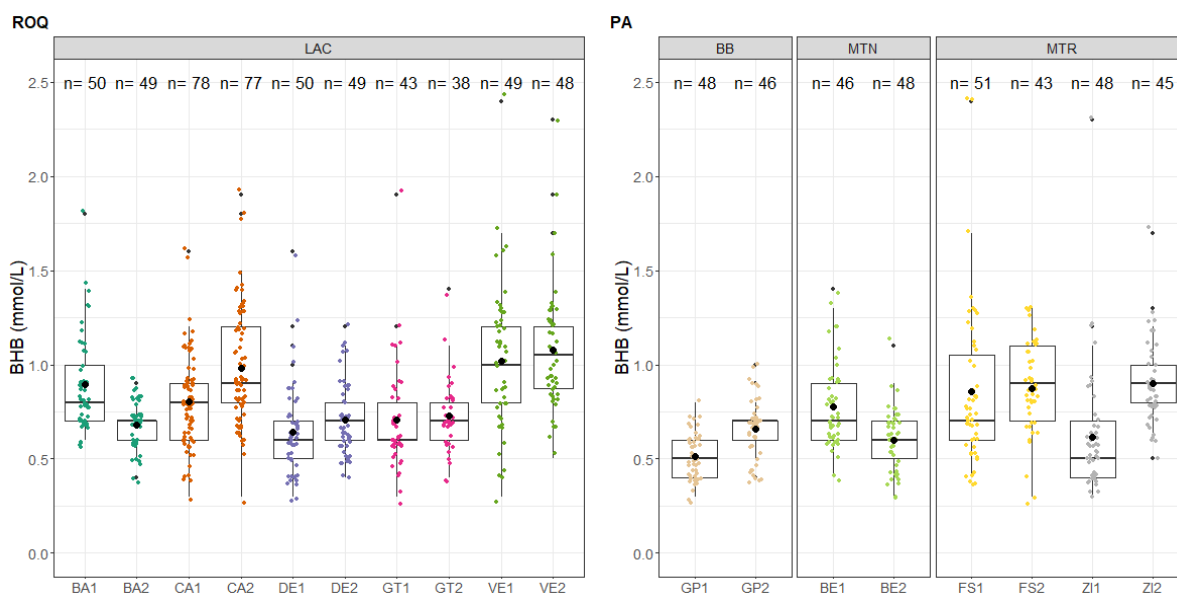


Figure 31 – Distribution des valeurs de concentrations en BHB sanguin en période d'allaitement-traite (AT = « 1 ») et au premier contrôle laitier (CL1 = « 2 »), selon le bassin, la race et l'élevage.

III.3.2. Description des données de concentrations en BHB et AGNE mesurées

III.3.2.1. Description des concentrations en BHB sanguin mesurées

- Distribution des concentrations en BHB sanguin : elles sont présentées pour les deux bassins dans la Figure 30.

En période d'allaitement-traite, les concentrations en BHB sanguin varient entre 0,3 et 2,4 mmol/L (soit une étendue de 2,1 mmol/L) quel que soit le bassin. Dans le Rayon de Roquefort, la valeur médiane est de 0,8 [0,6-0,9] mmol/L et dans les Pyrénées-Atlantiques, la valeur médiane est de 0,6 [0,5-0,8] mmol/L.

Au premier contrôle laitier, les concentrations en BHB sanguin sont comprises entre 0,3 et 2,3 mmol/L (soit une étendue de 2,0 mmol/L) avec une concentration médiane de 0,8 [0,7-1,0] mmol/L dans le Rayon de Roquefort et entre 0,3 et 1,7 mmol/L (soit une étendue de 1,4 mmol/L) avec une concentration médiane de 0,7 [0,6-0,9] mmol/L dans les Pyrénées-Atlantiques.

A l'échelle du bassin, les concentrations mesurées dans les Pyrénées-Atlantiques sont significativement inférieures à celles du Rayon de Roquefort en allaitement-traite ($p < 0,001$) et au premier contrôle laitier ($p < 0,01$). En considérant toutes les mesures obtenues, sans distinction d'élevage, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence dans le Rayon de Roquefort entre les concentrations en allaitement-traite et au premier contrôle laitier ; en revanche, les concentrations en BHB mesurées au premier contrôle laitier dans les Pyrénées-Atlantiques sont significativement ($p < 0,001$) supérieures à celles obtenues en allaitement-traite.

La Figure 31 montre la distribution des concentrations sanguines en BHB sanguins au sein des différents troupeaux et souligne l'importante variabilité entre les élevages.

Bassin	Race	Elevage	Période (prélèvement)	Effectif	Moyenne (+/- sd)	Médiane [Q1-Q3]	p-value (AT vs. CL1)	
ROQ	BA		AT (après-midi)	50	0,90 (+/- 0,25)	0,8 [0,7-1,0]	< 0,001	
			CL1 (matin)	49	0,68 (+/- 0,12)	0,7 [0,6-0,7]		
	CA		AT (après-midi)	78	0,80 (+/- 0,24)	0,8 [0,6-0,9]	< 0,01	
			CL1 (après-midi)	77	0,98 (+/- 0,31)	0,9 [0,8-1,2]		
	LAC	DE	AT (matin)	50	0,64 (+/- 0,24)	0,6 [0,5-0,7]	n.s.	
			CL1 (matin)	49	0,71 (+/- 0,20)	0,7 [0,6-0,8]		
		GT		AT (matin)	43	0,71 (+/- 0,28)	0,6 [0,6-0,8]	n.s.
				CL1 (matin)	38	0,73 (+/- 0,19)	0,7 [0,6-0,8]	
		VE		AT (après-midi)	48	1,08 (+/- 0,33)	1,0 [0,9-1,2]	n.s.
				CL1 (après-midi)	49	1,02 (+/- 0,39)	1,0 [0,8-1,2]	
PA	BB	GP	AT (matin)	48	0,51 (+/- 0,12)	0,5 [0,4-0,6]	< 0,001	
			CL1 (après-midi)	46	0,66 (+/- 0,17)	0,7 [0,6-0,7]		
	MTR	FS	AT (matin)	43	0,87 (+/- 0,25)	0,9 [0,7-1,1]	n.s.	
			CL1 (matin)	51	0,86 (+/- 0,44)	0,7 [0,6-1,1]		
		ZI	AT (après-midi)	48	0,62 (+/- 0,33)	0,5 [0,4-0,7]	< 0,001	
			CL1 (matin)	45	0,90 (+/- 0,23)	0,9 [0,8-1,0]		
	MTN	BE	AT (matin)	46	0,78 (+/- 0,23)	0,7 [0,6-0,9]	< 0,001	
			CL1 (matin)	48	0,60 (+/- 0,16)	0,6 [0,5-0,7]		

Tableau 20 – Moyenne (écart-type) et médianes (quartiles) des concentrations en BHB sanguins mesurées par élevage et par visite.

Les p-value présentées sont celles issues des tests de Wilcoxon réalisés entre les valeurs obtenues en allaitement-traite et au premier contrôle pour chaque élevage. n.s. : non significatif.

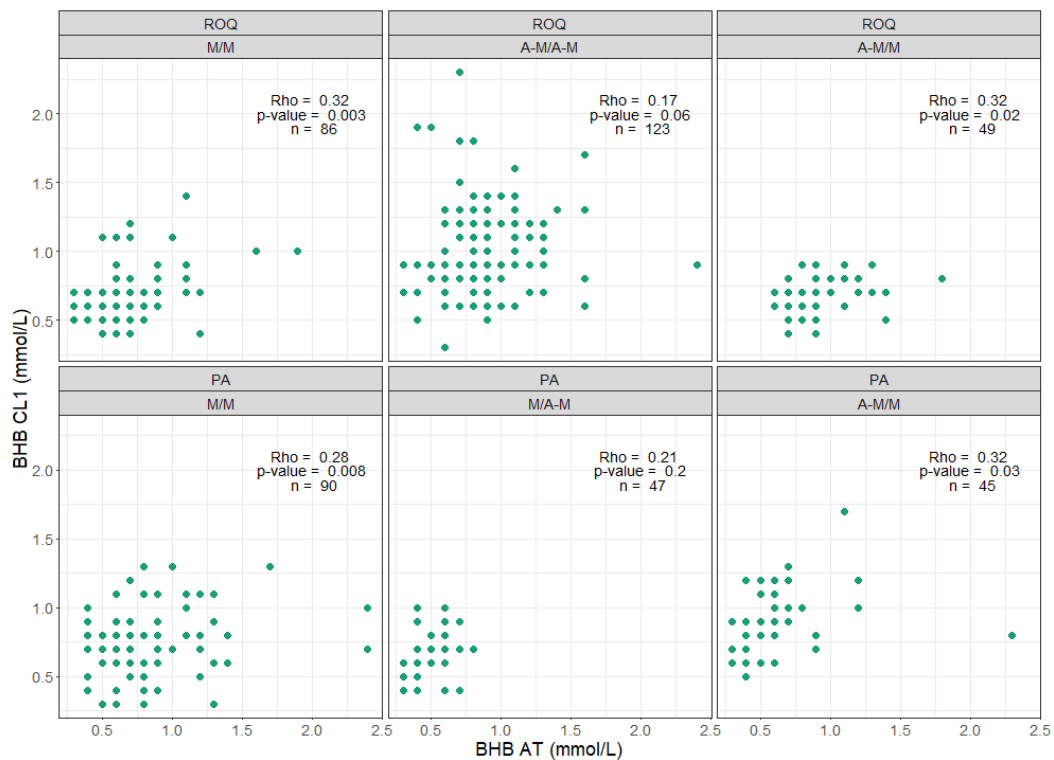


Figure 32 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB sanguin selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1))

Les moyennes et médianes des concentrations sont présentés dans le Tableau 20, ainsi que les p-value associées à la comparaison des concentrations entre allaitement-traite et premier contrôle laitier pour chaque élevage. Une remarque concerne l'élevage « VE »: les concentrations en BHB sanguins sont supérieures (quelle que soit la visite) à celles observées dans les autres élevages du Rayon de Roquefort. Cette différence est très probablement imputable, à l'incorporation de betteraves fourragères dans la ration.

- Variation des concentrations en BHB sanguin entre allaitement-traite et premier contrôle laitier : En moyenne, les concentrations en BHB sanguin sont stables entre le premier contrôle et l'allaitement-traite avec des différences moyennes de 0,06 +/- 0,38 mmol/L pour les élevages Lacaune et de 0,03 +/- 0,38 mmol/L pour les élevages pyrénéens. Lorsque les deux prélèvements ont été réalisés le matin, une la tendance à la stabilité est observée, comme précédemment décrite. Aucune différence significative dans les variations n'est observée lorsque les prélèvements sont tous deux réalisés l'après-midi. En revanche, lorsque ces derniers sont réalisés sur deux demi-journées différentes des différences significatives ($p < 0,001$) sont mises en évidence avec une baisse de 0,24 +/- 0,03 mmol/L (AT : après-midi / CL1 : matin) en Rayon de Roquefort et une augmentation de 0,15 +/- 0,19 (AT : matin / CL1 : après-midi) et de 0,28 +/- 0,37 mmol/L (AT : après-midi / CL1 : matin) en Pyrénées-Atlantiques.

Comme le montre la Figure 32, les concentrations en BHB sanguins issues de deux prélèvements réalisés le matin sont faiblement significativement corrélées (ROQ : $r=0,32$ et $p=0,003$; PA : $r=0,28$ et $p=0,008$). On ne retrouve pas de corrélation significative pour des prélèvements réalisés tous deux l'après-midi. Une corrélation existe lorsque les prélèvements ont été réalisés l'après-midi en allaitement-traite et au matin au premier contrôle laitier, mais pas à l'inverse. Toutefois ces dernières observations doivent être pondérées par les faibles effectifs associés.

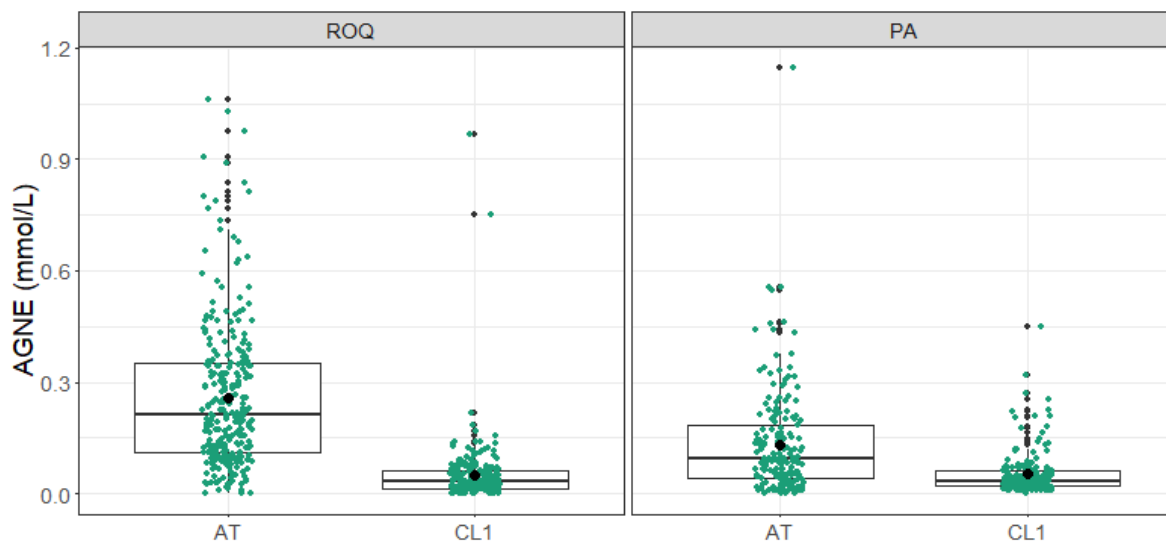


Figure 33 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins en période d'allaitement-traité (AT) et au premier contrôle laitier (CL1) selon le bassin

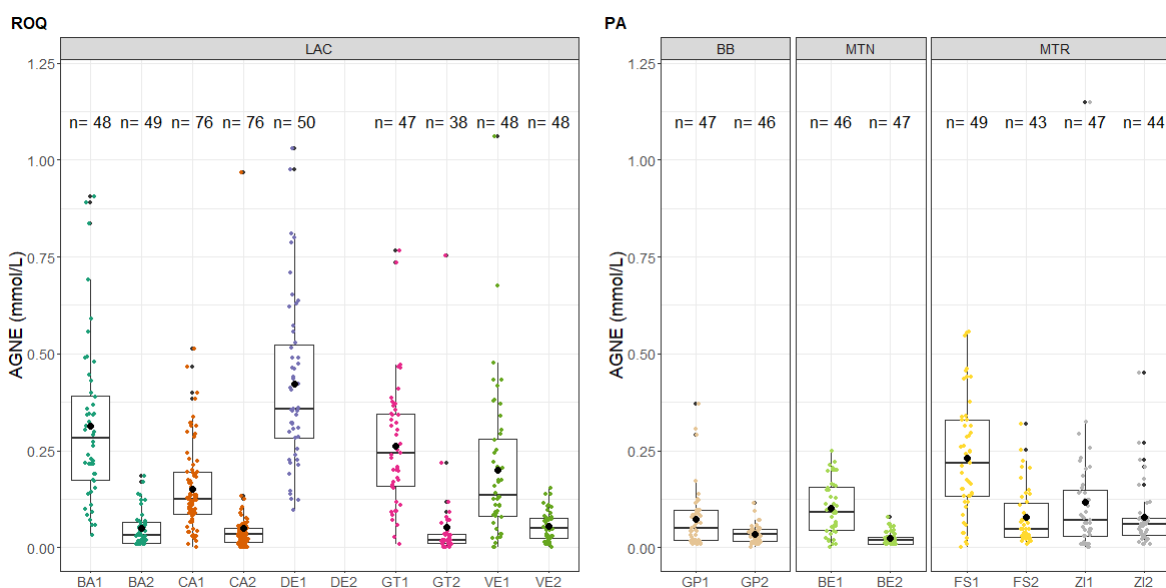


Figure 34 – Distribution des valeurs de concentrations en AGNE sanguins en période d'allaitement-traité (AT = « 1 ») et au premier contrôle laitier (CL1 = « 2 »), selon le bassin, la race et l'élevage.

III.3.2.2. Description des concentrations en AGNE sanguins mesurées

- Distribution des concentrations en AGNE sanguins : elles sont présentées pour les deux bassins dans la Figure 33.

En période d'allaitement-traite, les concentrations en AGNE sanguins varient entre 0,008 (seuil de quantification –7 valeurs étaient inférieures) et 0,97 mmol/L (soit une étendue de 0,96 mmol/L) dans le Rayon de Roquefort et 1,15 mmol/L (soit une étendue de 1,14 mmol/L) dans les Pyrénées-Atlantiques. Les valeurs médianes sont respectivement de 0,21 [0,11-0,35] mmol/L et de 0,09 [0,04-0,18] mmol/L.

Au premier contrôle laitier, les concentrations en AGNE sanguins sont comprises entre 0,008 (14 valeurs étaient inférieures au seuil de quantification) et 0,45 mmol/L (soit une étendue de 0,44 mmol/L) dans le bassin pyrénéen et 0,97 mmol/L (soit une étendue de 0,96 mmol/L) dans le Rayon de Roquefort. Les valeurs médianes sont respectivement de 0,03 [0,02-0,06] mmol/L et de 0,03 [0,01-0,06] mmol/L.

Les concentrations mesurées dans les Pyrénées-Atlantiques sont significativement inférieures à celles du Rayon de Roquefort en allaitement-traite ($p < 0,001$), en revanche aucune différence significative n'est soulignée au premier contrôle laitier. Quel que soit le bassin, les concentrations en AGNE sanguins mesurées au premier contrôle laitier sont significativement inférieures à celles mesurées en période d'allaitement-traite ($p < 0,001$).

La Figure 34 montre la distribution des concentrations sanguines en AGNE sanguins au sein des différents troupeaux. A l'instar des observations faites pour les valeurs de BHB, la figure illustre l'importante variabilité inter-élevages. Les moyennes et médianes des concentrations sont présentés dans le Tableau 21, ainsi que les p-value associées à la comparaison des concentrations entre allaitement-traite et premier contrôle laitier pour chaque élevage. A l'exception de l'élevage « ZI » pour lequel les différences entre allaitement-traite et premier contrôle laitier ne sont pas significatives, tous les autres élevages suivent la tendance générale : les valeurs de concentrations en AGNE sanguins sont significativement plus faibles au premier contrôle laitier.

Bassin	Race	Elevage	Période (prélèvement)	Effectif	Moyenne (+/- sd)	Médiane [Q1-Q3]	p-value (AT vs. CL1)
ROQ	BA		AT (après-midi)	48	0,31 (+/- 0,21)	0,28 [0,17-0,39]	< 0,001
			CL1(matin)	49	0,05 (+/- 0,05)	0,03 [0,01-0,07]	
	CA		AT (après-midi)	76	0,05 (+/- 0,11)	0,03 [0,01-0,05]	< 0,001
			CL1 (après-midi)	76	0,15 (+/- 0,11)	0,12 [0,09-0,19]	
	LAC	DE	AT (matin)	50	0,42 (+/- 0,22)	0,36 [0,28-0,25]	-
			CL1 (matin)	-	-	-	
		GT	AT (matin)	43	0,26 (+/- 0,16)	0,24[0,16-0,34]	< 0,001
			CL1 (matin)	38	0,05 (+/- 0,12)	0,02 [0,01-0,03]	
	VE		AT (après-midi)	48	0,20 (+/- 0,20)	0,14 [0,08-0,28]	< 0,001.
			CL1 (après-midi)	48	0,05 (+/- 0,034)	0,05 [0,02-0,08]	
PA	BB	GP	AT (matin)	47	0,07 (+/- 0,08)	0,05 [0,02-0,10]	< 0,01
			CL1 (après-midi)	46	0,03 (+/- 0,02)	0,03 [0,02-0,05]	
	FS		AT (matin)	49	0,23 (+/- 0,15)	0,22 [0,13-0,33]	< 0,001
			CL1 (matin)	43	0,08 (+/- 0,08)	0,05 [0,03-0,11]	
	MTR	ZI	AT (après-midi)	47	0,12 (+/- 0,17)	0,07 [0,03-0,15]	n.s.
			CL1 (matin)	44	0,08 (+/- 0,08)	0,06 [0,03-0,08]	
	MTN	BE	AT (matin)	46	0,10 (+/- 0,08)	0,09 [0,04-0,16]	< 0,001
			CL1 (matin)	47	0,02 (+/- 0,02)	0,02 [0,01-0,03]	

Tableau 21 – Moyenne (écart-type) et médianes (quartiles) des concentrations en AGNE sanguins mesurées par élevage et par visite.

Les p-value présentées sont celles issues des tests de Wilcoxon réalisés entre les valeurs obtenues en allaitement-traite et au premier contrôle pour chaque élevage. n.s. : non significatif.

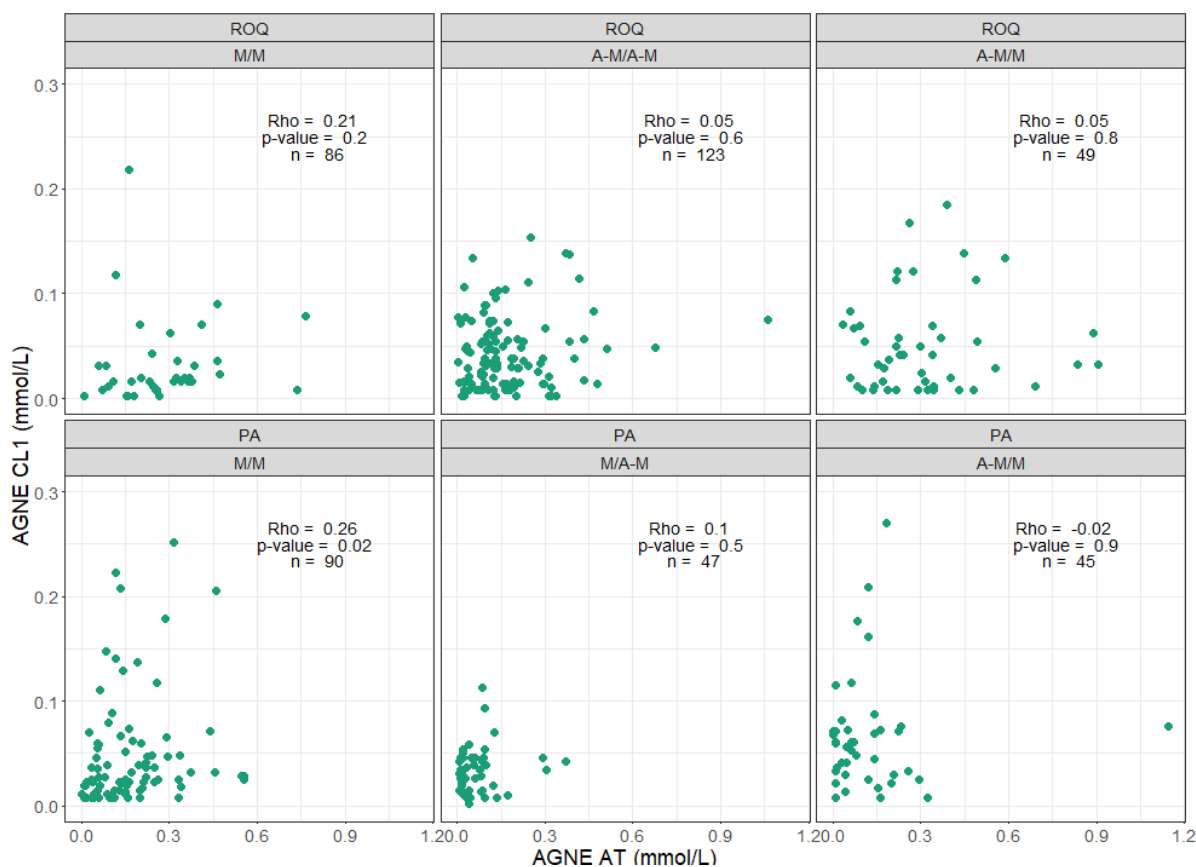


Figure 35 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en AGNE sanguin selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi en période d'allaitement-traite (AT) et au premier contrôle laitier (CL1)

n = 4 valeurs supérieures à 0,3 mmol/L au premier contrôle laitier ne sont pas représentées.

- Variation des concentrations en AGNE sanguins entre allaitement-traite et premier contrôle laitier : En moyenne, les concentrations en AGNE sanguins chutent entre l'allaitement-traite et le premier contrôle laitier avec une baisse moyenne de 0,08 +/- 0,15 mmol/L pour les élevages pyrénéens et de 0,17 +/- 0,20 mmol/L pour les élevages Lacaune. Lorsque les deux prélèvements sont réalisés le matin, la diminution est d'autant plus marquée avec une réduction moyenne de 0,22 +/- 0,22 mmol/L pour le Rayon de Roquefort et 0,12 +/- 0,14 mmol/L dans les Pyrénées-Atlantiques. Les variations entre les deux mesures sont significatives ($p < 0,001$), avec des baisses de moins forte intensité lorsque les prélèvements sont réalisés tous deux l'après-midi en Rayon de Roquefort ou sur deux demi-journées différentes dans les Pyrénées-Atlantiques. En revanche, aucune différence de variation significative n'est relevée en Rayon de Roquefort lorsque les prélèvements sont réalisés l'après-midi en allaitement-traite puis le matin au premier contrôle laitier.

Enfin, seules les concentrations en AGNE sanguins issues de deux prélèvements réalisées le matin aux deux périodes de mesure dans les Pyrénées-Atlantiques sont significativement corrélées ($r=0,26$ et $p=0,02$). Aucune autre corrélation significative n'a pu être mise en évidence.

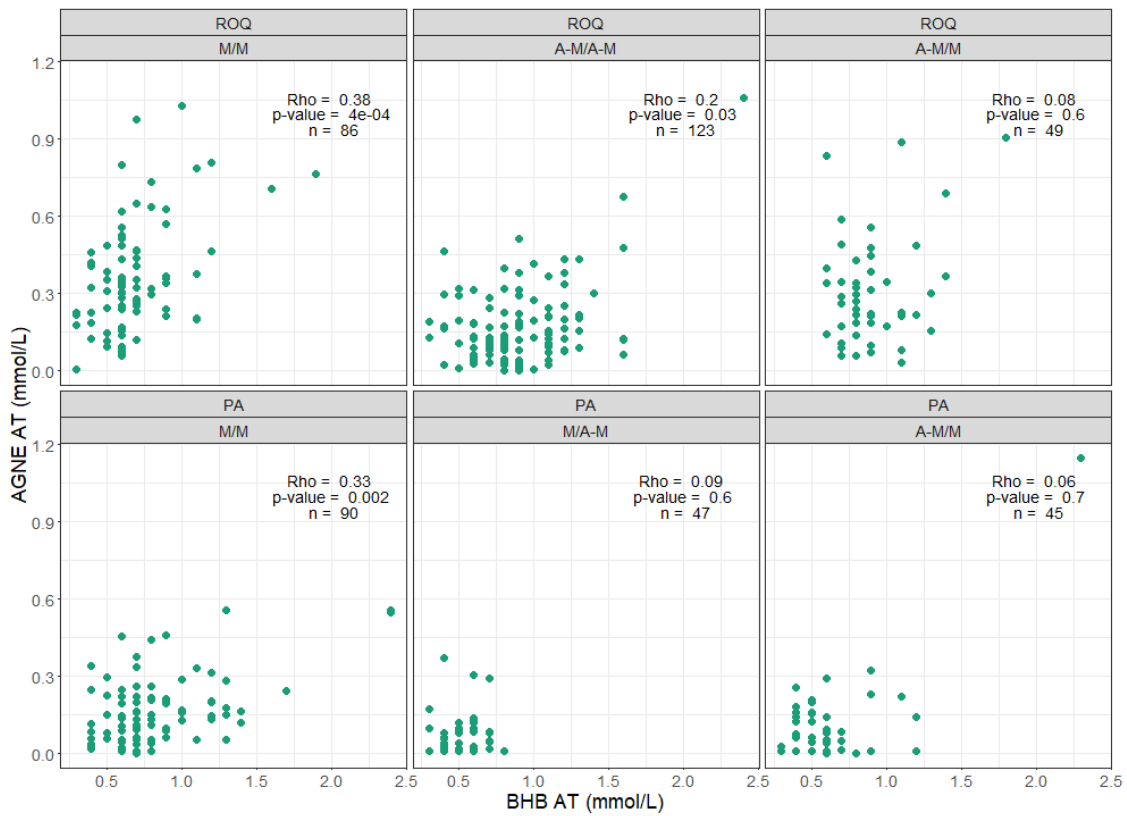


Figure 36 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguins selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi) en période d'allaitement-traite (AT)

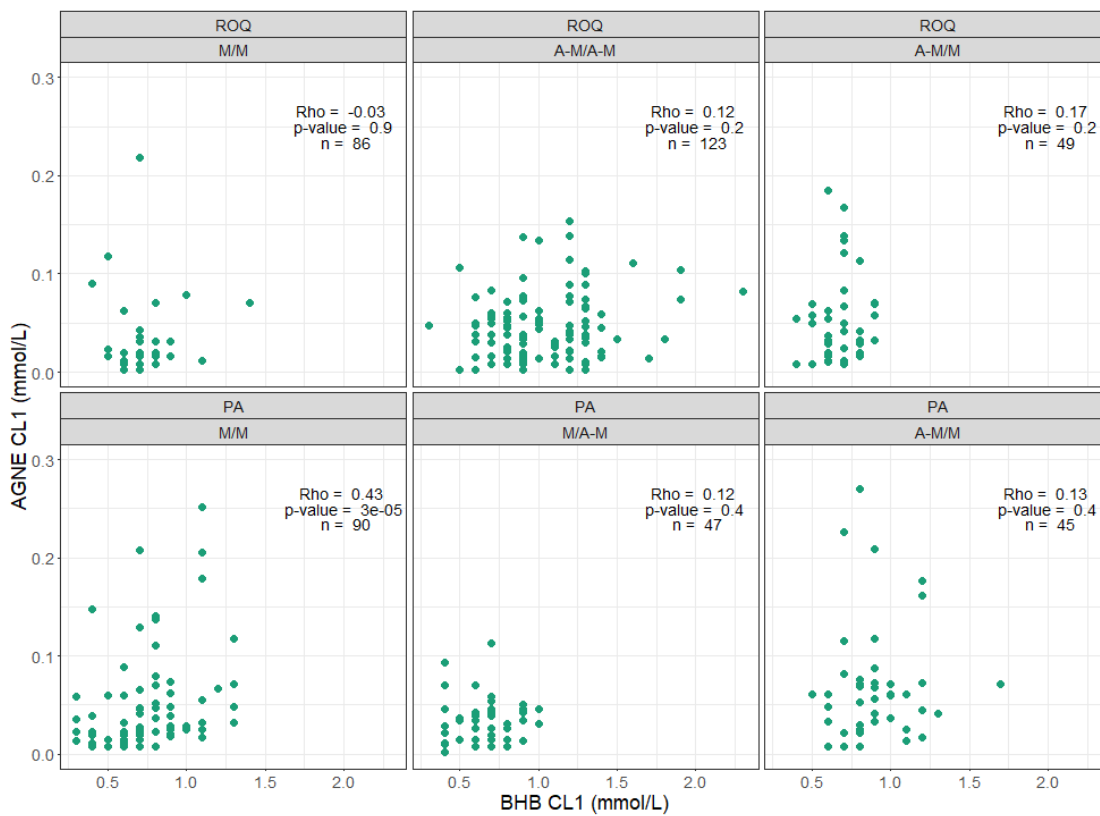


Figure 37 – Corrélation entre les valeurs des concentrations en BHB et en AGNE sanguins selon les demi-journées de prélèvements associées (« M » : matin et « A-M » : après-midi) au premier contrôle laitier (CLI)
 n = 4 valeurs supérieures à 0,3 mmol/L au premier contrôle laitier ne sont pas représentées.

III.3.2.3. *Corrélation entre les concentrations de BHB et des AGNES sanguins*

- Corrélation en période d'allaitement-traite : les concentrations mesurées en BHB et en AGNE sanguins sont faiblement mais significativement corrélées lorsque les deux prélèvements sont tous deux réalisés le matin (ROQ : $r=0.38$ et $p<0,001$; PA : $r=0,33$ et $p=0,002$) ou l'après-midi (ROQ : $r=0,2$ et $p=0,03$). En revanche, aucune corrélation significative n'est mise en évidence lorsque les prélèvements interviennent sur deux demi-journées différentes entre les deux visites. Les résultats sont présentés dans la Figure 36.

- Corrélation au premier contrôle laitier : les résultats sont présentés dans la Figure 37. Seules les concentrations en BHB et en AGNE sanguins issues de deux prélèvements réalisés le matin dans les Pyrénées-Atlantiques montrent une corrélation significative ($r=0,43$ et $p<0,001$). Aucune autre corrélation significative n'a pu être mise en évidence.

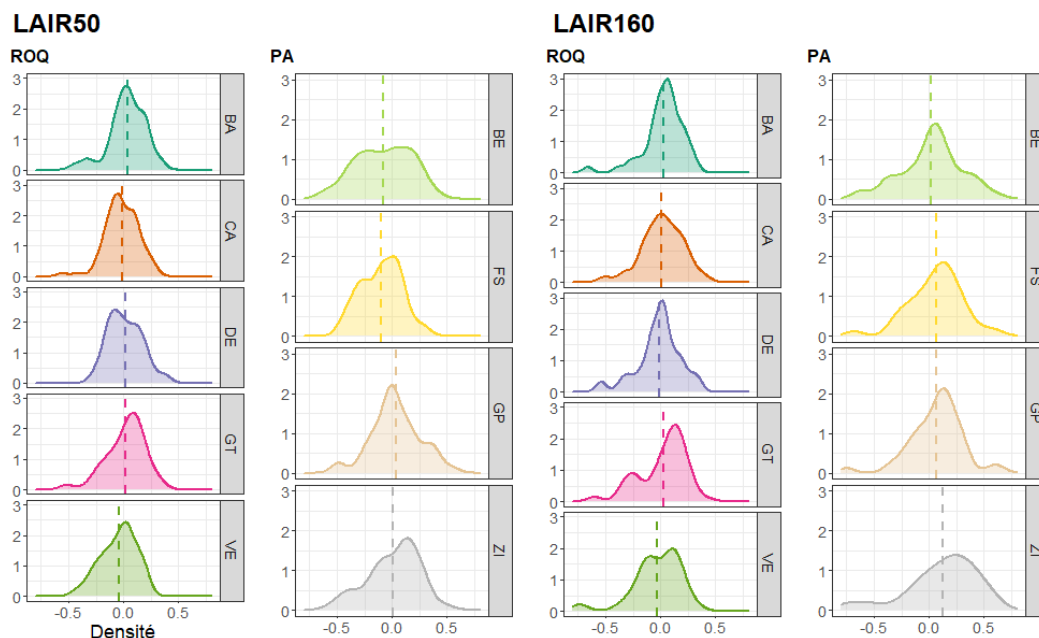


Figure 38 – Distribution des écarts à la moyenne intra-rang et intra-troupeau des productions laitières de référence à 50 (LAIR50) et 160 (LAIR160) jours de lactation selon le bassin de production

Élément du lait (spectre MIR)		Unité	Précision des équations PHENOFINLAIT (Gelé et al. 2014)
MG (g/L)	Matière grasse	g/L	++
MP (g/L)	Matière protéique		++
MONOUNFA (%)	Total AGMI (acides gras monoinsaturés)		++
TOTALUNFA (%)	Total AGI (acides gras insaturés)		++
POLYUNFA (%)	Total AGPI (acides gras polyinsaturés)		+
SATFA (%)	Total AGS (acides gras saturés)		++
C10:0 (%)	AGS à 10 carbones (<i>acide caprique</i>)	% AG totaux	+
C12:0 (%)	AGS à 12 carbones (<i>acide laurique</i>)		+
C14:0 (%)	AGS à 14 carbones (<i>acide myristique</i>)		+
C16:0 (%)	AGS à 16 carbones (<i>acide palmitique</i>)		+
C18:0 (%)	AGS à 18 carbones (<i>acide stéarique</i>)		+/-
C18:1 (%)	AGMI à 18 carbones		++
C18:1c9 (%)	AGMI à 18 carbones (<i>acide oléique</i>)		+
C18:3n3 (%)	AGPI à 18 carbones (<i>acide alpha linoléique</i>)		+/-
C4:0 (%)	AGS à 4 carbones (<i>acide butyrique</i>)	++	
C6:0 (%)	AGS à 6 carbones (<i>acide caproïque</i>)	++	
C8:0 (%)	AGS à 8 carbones (<i>acide caprylique</i>)	++	
Ratio C18:1 / C14:0			
Ratio C18:1 / (C4:0+C6:0+C8:0+C10:0+C12 :0)			
Ratio MG/MP			

Tableau 22 – Eléments du lait évalué par spectrométrie infrarouge étudiés pour caractériser les liens avec les variations de notes d'état corporel

« ++ » : $R^2 > 0,91$ et $s_{y,x}$ relatif < 5% ; « + » : $R^2 > 0,82$ et $5\% < s_{y,x}$ relatif < 10% ; « +/- » : $R^2 > 0,7$ et $10\% < s_{y,x}$ relatif < 15%

III.3.3. Mise en relation des variations des NEC avec les données de production et de composition fine du lait

III.3.3.1. Choix des paramètres relatifs à la production et à la composition du lait

Concernant la production laitière, les paramètres suivants ont été étudiés : production laitière de référence à 50 jours (LAIR50) et à 160 jours (LAIR160), considérées sous la forme d'écart relatif (%) à la moyenne intra-troupeau et intra-rang de lactation. Les distributions de ces derniers sont représentées dans la Figure 38 pour les productions laitières de référence à 50 et 160 jours. Dans l'ensemble, les brebis prélevées présentent des productions centrées sur la moyenne intra-rang et intra-troupeau, rendant représentatif l'échantillon sélectionné.

Concernant la composition fine du lait, les paramètres étudiés concernent les matières protéique et grasse du lait et sont détaillés dans le Tableau 22. La précision d'estimation des équations PHENOFINLAIT pour les brebis est mentionnée, toutefois, les données exploitées dans le cadre de cette étude sont les données préliminaires fournies par Agrolabs et obtenues grâce aux équations développées pour le lait de vache.

III.3.3.2. Mise en relation des variations des NEC avec les données de production et de composition du lait

L'ensemble des résultats commentés ci-dessous sont présentés dans les Tableau 23 à Tableau 26 (pages 118 à 125).

- Variations de NEC et production laitière :

La production laitière de référence à 50 jours varie différemment selon le bassin de production concerné : dans le Rayon de Roquefort, une perte de 0,5 point de NEC entre la fin de gestation et l'allaitement-traite est associée à une hausse (de 50,0 +/- 16,6 % ; $p < 0.01$) de la production ; à l'inverse, pour une perte de 0,25 point de NEC dans les Pyrénées-Atlantiques, on observe une diminution (de 10,9 +/- 5,5% ; $p < 0.05$) de la production laitière de référence à 50 jours.

Aucun effet des variations de NEC sur la production laitière de référence à 160 jours n'a pu être démontrée dans le Rayon de Roquefort. En revanche, une perte d'état entre la fin de gestation et l'allaitement-traite influence négativement (- 16,9 +/- 7,7% ; $p < 0.05$) la production à 160 jours pour les brebis pyrénéennes, cette dernière étant également soumise à un effet rang de lactation.

Variable réponse	Variable explicative : $\Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2} = \text{NEC}_2 - \text{NEC}_1$												
	Rayon de Roquefort						Pyrénées-Atlantiques						
	Continue			Catégorielle			Continue			Catégorielle			
	M.m ¹	Réf. ²	p value ³ et effet ⁴	M.m ¹	Réf. ⁵	p value ³ et effet ⁶	M.m ¹	Réf. ²	p value ³ et effet ⁴	M.m ¹	Réf. ⁵	p value ³ et effet ⁶	
BHB (mmol/L)	x	0.77 ± 0.09	* 0.10 ± 0.04										
AGNE (mmol/L)	x	0.28 ± 0.07	*** 0.08 ± 0.02		0.28 ± 0.07	* (≤ -0.75) : 0.11 ± 0.04 (-0.5) : 0.07 ± 0.04							
MP (g/L)	x	47.3 ± 0.9	** -1.4 ± 0.5		48.0 ± 1.5	* (≤ -0.75) : -2.3 ± 0.9 (-0.5) : -1.6 ± 0.8		46.1 ± 2.5	* -8.0 ± 3.3	x	44.5 ± 2.6	** (-0.25) : -13.9 ± 4.1	
C10:0 (%)	x	3.6 ± 0.2	*** -0.6 ± 0.1		3.8 ± 0.3	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : -1.0 ± 0.2 (≥ 0.25) : 0.2 ± 0.2							
C12:0 (%)	x	4.2 ± 0.3	*** -0.6 ± 0.1		4.4 ± 0.3	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : -1.1 ± 0.2 (≥ 0.25) : 0.2 ± 0.3							
C14:0 (%)								13.4 ± 1.4	* -3.8 ± 1.8	x	12.4 ± 1.4	** (≥ 0.25) : 7.3 ± 2.3	
C16:0 (%)							x	27.6 ± 1.3	** -4.5 ± 1.7		26.9 ± 1.4	* (≥ 0.25) : 5.9 ± 2.2	
C18:0 (%)	x	8.5 ± 0.3	*** 0.6 ± 0.3		8.5 ± 0.3	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : 1.0 ± 0.3 (≥ 0.25) : -0.6 ± 0.3							
C18:1 (%)	x	23.6 ± 1.1	*** 2.1 ± 0.4		23.4 ± 1.2	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : 3.1 ± 0.8 (≥ 0.25) : -1.8 ± 0.9							
C18:1c9 (%)				Absence de données							x	16.1 ± 0.9	* (≥ 0.25) : 3.9 ± 1.4
C18:3n3 (%)										x	9.0 ± 0.5	* (≥ 0.25) : 2.1 ± 0.7	
C4:0 (%)										x	3.4 ± 0.1	*** (-0.5) : -0.4 ± 0.2 (≥ 0.25) : -0.7 ± 0.2	
C6:0 (%)		2.5 ± 0.1	* -0.1 ± 0.1										

C8:0 (%)	x	1.5 ± 0.1	*** -0.2 ± 0.1		1.5 ± 0.1	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : -0.3 ± 0.1 (≥ 0.25) : 0.0 ± 0.1				x	1.5 ± 0.1	* (≥ 0.25) : -0.2 ± 0.1
MONOUNFA (%)	x	27.0 ± 1.0	*** 2.4 ± 0.5		26.7 ± 1.1	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : 3.7 ± 0.9 (≥ 0.25) : -1.7 ± 1.0						
POLYUNFA (%)				x	5.1 ± 0.1	* (≥ 0.25) : -0.4 ± 0.2		7.5 ± 0.8	* -2.1 ± 1.0	x	7.0 ± 0.8	** (≥ 0.25) : 3.9 ± 1.3
SATFA (%)	x	72.8 ± 1.4	*** -2.8 ± 0.7		73.4 ± 1.6	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : -4.2 ± 1.3 (≥ 0.25) : 1.8 ± 1.5		74.5 ± 2.1	* -6.4 ± 2.8	x	73.3 ± 2.2	* (≥ 0.25) : 10.0 ± 3.5
TOTALUNFA (%)	x	27.2 ± 1.4	*** 2.8 ± 0.7		26.6 ± 1.6	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : 4.2 ± 1.3 (≥ 0.25) : -1.8 ± 1.5	x	23.2 ± 1.8	* 5.1 ± 2.4		24.0 ± 1.9	* (≥ 0.25) : -7.6 ± 3.0
ratio C18:1/C14:0		2.2 ± 0.3	** 0.3 ± 0.1	x	2.0 ± 0.3	*** (> 3 signif.) (≤ -0.75) : 0.3 ± 0.2 (≥ 0.25) : -0.4 ± 0.2						
ratio C18:1/ Σ AG pairs 4 à 12	x	1.7 ± 0.2	*** 0.3 ± 0.1		1.6 ± 0.2	** (≤ -0.75) : 0.5 ± 0.2 (≥ 0.25) : -0.2 ± 0.2						
ratio MG/MP		1.3 ± 0.1	* 0.1 ± 0.1		1.2 ± 0.1	* (≤ -0.75) : 0.2 ± 0.1 (-0.5) : 0.2 ± 0.1						
LAIR50 (%)	x	-25.8 ± 19.4	** 50.0 ± 16.6		-1.4 ± 28.1	* Aucune comparaison significative		1.1 ± 4.9	* -16.5 ± 6.5	x	1.1 ± 4.6	*** (-0.25) : -13.7 ± 4.5
LAIR160 (%)								17.5 ± 5.0	* -16.9 ± 7.7	x	15.6 ± 5.6	* (-0.25) : -10.9 ± 5.5

Tableau 23 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC₁) et allaitement-traité (NEC₂) dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques – effet du Δ NEC_{1→2}

¹ La case « M. m » est cochée lorsque les résultats présentés sont ceux correspondant au Meilleur modèle par comparaison des AIC. Par ailleurs, pour chaque type (« continue » ou « catégorielle ») les résultats présentés sont ceux du modèle avec l'AIC la plus faible lorsque les deux (avec ou sans prise en compte de la demi-journée) étaient associés à un effet significatif du Δ NEC_{1→2}.

² La référence correspond à la valeur moyenne de la variable réponse pour l'individu de référence dans le modèle soit : une brebis en seconde lactation, ayant eu 2 agneaux, prélevée le matin du 25^{ème} jour en lait et présentant une variation de NEC nulle.

³ p value associée à la significativité globale de l'effet du Δ NEC_{1→2} dans le modèle, telle que : * : p value < 0,05 ; ** : p value < 0,01 ; *** p value < 0,001.

⁴ L'effet du Δ NEC_{1→2} en tant que variable continue correspond à l'effet sur la variable réponse d'une perte de 0,5 point de NEC.

⁵ La référence correspond à la valeur moyenne de la variable réponse pour l'individu de référence dans le modèle soit : une brebis en seconde lactation, ayant eu 2 agneaux, prélevée le matin du 25^{ème} jour en lait et présentant un niveau de variation de NEC nulle.

⁶ L'effet du Δ NEC_{1→2} en tant que variable catégorielle correspond :

- à l'estimé moyen de la variation observée sur la variable réponse entre une brebis stable et un niveau de variation, lorsque moins de trois comparaisons sont significatives ;
- ou à l'estimé moyen de la variation observée sur la variable réponse entre une brebis stable et les variations les plus extrêmes au sein des comparaisons significatives.

Variable réponse	Autres effets des modèles incluant la variable explicative : Δ NEC ₁ → ₂											
	Rayon de Roquefort						Pyrénées-Atlantiques					
	Continue			Catégorielle			Continue			Catégorielle		
	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²
BHB (mmol/L)	X	Portée Rang	* **									
AGNE (mmol/L)	X	Portée	***		Portée	***						
MP g/L	X	Portée Djour_lait	** **		Portée	*		Jel_lait	***	X	Jel_lait Djour_lait	*** *
C10:0 (%)	X	Portée Rang	*** *		Portée Rang	*** *						
C12:0 (%)	X	Portée	***		Portée	***						
C14:0 (%)								Rang Jel_lait Djour_lait	* ** *	X	Jel_lait Djour_lait	** *
C16:0 (%)							X	Portée Rang Jel_lait Djour_lait	* ** * *		Portée Rang Jel_lait Djour_lait	* ** * *
C18:0 (%)	X	Portée	*		Portée	*						
C18:1 (%)	X	Portée	**		Mod4							
C18:1c9 (%)										X	Rang Jel_lait Djour_lait	** *** *
C18:3n3 (%)										X	Jel_lait Djour_lait	*** *
C4:0 (%)										X	Jel_lait	***
C6:0 (%)												
C8:0 (%)	X	Portée Rang	*** *		Portée	**				X	Jel_lait Djour_lait	*** **
MONOUNFA (%)	X	Portée	***		Portée	***						
POLYUNFA (%)				X	Portée Rang	** ***		Portée Rang	* ***	X	Portée Rang	** ***
SATFA (%)	X	Portée	**		Portée	**	X	Rang Jel_lait	** ***	X	Rang Jel_lait	* ***

								Djour_lait	***		Djour_lait	***
TOTALUNFA (%)	X	Portée	**		Portée	**		Rang Jel_lait	* **		Jel_lait	*
ratio C18:1/C14:0				X								
ratio C18:1/ Σ AG pairs 4 à 12	X	Portée	***		Portée	***						
ratio MG/MP												
LAIR50	X									X		
LAIR160								Rang	*	X	Rang	*

Tableau 24 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC_1) et allaitement-traité (NEC_2) dans le Rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques – autres effets

Avec « Djour_lait » l'effet de la demi-journée (matin ou après-midi) associée au prélèvement du lait et « Jel_lait » le jour en lait associé au prélèvement de lait.

¹ La case « M. m » est coché lorsque les résultats présentés sont ceux correspondant au Meilleur modèle par comparaison des AIC. Par ailleurs, pour chaque type (« continue » ou « catégorielle ») les résultats présentés sont ceux du modèle avec l'AIC la plus faible lorsque les deux (avec ou sans prise en compte de la demi-journée) étaient associés à un effet significatif du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 2}$.

² p value associée à la significativité globale de l'effet considéré dans le modèle, telle que : * : p value < 0,05 ; ** : p value < 0,01 ; *** p value < 0,001.

Variable réponse	Rayon de Roquefort											
	$\Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3} = \text{NEC}_3 - \text{NEC}_2$						$\Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3} = \text{NEC}_3 - \text{NEC}_1$					
	Continue			Catégorielle			Continue			Catégorielle		
	M.m ¹	Réf. ²	p_value ³ et effet ⁴	M.m ¹	Réf. ⁵	p_value ³ et effet ⁶	M.m ¹	Réf. ²	p_value ³ et effet ⁴	M.m ¹	Réf. ⁵	p_value ³ et effet ⁶
MG (g/L)	x	64.7 ± 1.8	** 7.0 ± 2.6		64.5 ± 2.0	* (≥ 0.5) : -7.8 ± 2.9						
AG TOTAUX (%)	x	61.5 ± 1.7	** 6.6 ± 2.4		61.3 ± 1.9	* (≥ 0.5) : -7.4 ± 2.7						
C12:0 (%)							x	5.9 ± 0.1	* -0.2 ± 0.1			
C14:0 (%)										x	15.1 ± 0.6	*** (≤0.75) : 13.1 ± 3.4
C16:0 (%)							x	26.2 ± 0.3	* -0.9 ± 0.4			
C18:0 (%)							x	6.2 ± 0.1	* 0.4 ± 0.1			
C18:1 (%)							x	17.6 ± 0.3	*** 1.4 ± 0.4		17.8 ± 0.4	** 0.25 : -1.3 ± 0.5
C18:3n3 (%)					1.53 ± 0.09	* (≥ 0.5) : -0.24 ± 0.12				x	1.6 ± 0.1	** (≤0.75) : 1.9 ± 0.5
C6:0 (%)	x	2.93 ± 0.04	* -0.09 ± 0.04				x	2.98 ± 0.02	* -0.07 ± 0.03			
MONOUNFA (%)							x	20.1 ± 0.3	*** 1.4 ± 0.4		20.3 ± 0.4	** 0.25 : -1.3 ± 0.5
POLYUNFA (%)							x	5.3 ± 0.1	** 0.3 ± 0.1		5.3 ± 0.1	** (≤0.75) : 1.4 ± 0.5 0.25 : -0.2 ± 0.1
SATFA (%)							x	78.7 ± 0.3	** -1.4 ± 0.4		78.7 ± 0.4	** (-0.25) : -1.1 ± 0.5 0.25 : 1.4 ± 0.6
TOTALUNFA (%)							x	21.3 ± 0.3	** 1.4 ± 0.4		21.3 ± 0.4	** (-0.25) : -1.1 ± 0.5 0.25 : 1.3 ± 0.6
ratio C18:1/C14:0							x	1.2 ± 0.1	* 0.1 ± 0.1			
ratio C18:1/							x	9.2 ± 0.2	***		9.3 ± 0.3	*

Σ AG pairs 4 à 12									1.0 ± 0.3			Aucune comparaison significative
ratio MG/MP		1.17 ± 0.06	* 0.10 ± 0.05									
LAIR50 (%)										x	-1.3 ± 2.3	* Aucune comparaison significative

Tableau 25 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC_1) et allaitement-traité (NEC_2) dans le Rayon de Roquefort – effet du $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3}$ ou du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3}$

¹ La case « M. m » est cochée lorsque les résultats présentés sont ceux correspondant au Meilleur modèle par comparaison des AIC. Par ailleurs, pour chaque type (« continue » ou « catégorielle ») les résultats présentés sont ceux du modèle avec l'AIC la plus faible lorsque les deux (avec ou sans prise en compte de la demi-journée) étaient associés à un effet significatif du $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3}$ ou du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3}$.

² La référence correspond à la valeur moyenne de la variable réponse pour l'individu de référence dans le modèle soit : une brebis en seconde lactation, ayant eu 2 agneaux, prélevée le matin du 50^{ème} jour en lait et présentant une variation de NEC nulle.

³ p value associée à la significativité globale de l'effet du $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3}$ ou du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3}$ dans le modèle, telle que : * : p value < 0,05 ; ** : p value < 0,01 ; *** : p value < 0,001.

⁴ L'effet du $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3}$ ou du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3}$ en tant que variable continue correspond à l'effet sur la variable réponse d'une perte de 0,5 point de NEC.

⁵ La référence correspond à la valeur moyenne de la variable réponse pour l'individu de référence dans le modèle soit : une brebis en seconde lactation, ayant eu 2 agneaux, prélevée le matin du 25^{ème} jour en lait et présentant un niveau de variation de NEC nulle.

⁶ L'effet du $\Delta NEC_{2 \rightarrow 3}$ ou du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 3}$ en tant que variable catégorielle correspond :

- à l'estimé moyen de la variation observée sur la variable réponse entre une brebis stable et un niveau de variation, lorsque moins de trois comparaisons sont significatives ;
- ou à l'estimé moyen de la variation observée sur la variable réponse entre une brebis stable et les variations les plus extrêmes au sein des comparaisons significatives (précisé par la mention « >3 signif. »).

Variable réponse	Rayon de Roquefort – Autres effets des modèles incluant la variable explicative :											
	$\Delta NEC_{2 \rightarrow 3} = NEC_3 - NEC_2$						$\Delta NEC_{1 \rightarrow 3} = NEC_1 - NEC_2$					
	Continue			Catégorielle			Continue			Catégorielle		
	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²	M.m ¹	Effets	p_value ²
MG (g/L)	X	Rang	***		Rang	***						
AG_TOT (%)	X	Rang	***		Rang	***						
C12:0 (%)							X	Portée Jel_lait Djour_lait	*** ** ***			
C14:0 (%)										X	Rang Djour_lait	* ***
C16:0 (%)							X	Rang	*			
C18:0 (%)							X	Jel_lait Djour_lait	* ***			
C18:1 (%)							X	Portée Jel_lait Djour_lait	** * ***		Portée Jel_lait Djour_lait	** * ***
C18:3n3 (%)					RANG	**				X	RANG	***
C6:0 (%)	X	Portée Jel_lait Djour_lait	* * ***				X	Portée Jel_lait Djour_lait	** * ***			
MONOUNFA (%)							X	Portée Djour_lait	** ***		Portée Djour_lait	** ***
POLYUNFA (%)							X	Aucun			Djour_lait	*
SATFA (%)							X	Portée Djour_lait	** ***		Portée Djour_lait	** ***
TOTALUNFA (%)							X	Portée Djour_lait	** ***		Portée Djour_lait	** ***
ratio C18:1/C14:0							X	Djour_lait	***			
ratio C18:1/ Σ AG pairs 4 à 12							X	Portée Jel_lait Djour_lait	** ** ***		Portée Jel_lait Djour_lait	** ** ***
ratio MG/MP		Aucun										
LAIR50 (%)										X	Aucun	

Tableau 26 - Synthèse des résultats des modèles de régression linéaire étudiant l'effet de la variation de NEC entre fin de gestation (NEC₁) et allaitement-traité (NEC₂) dans le Rayon de Roquefort – autres effets

Avec « Djour_lait » l'effet de la demi-journée (matin ou après-midi) associée au prélèvement du lait et « Jel_lait » le jour en lait associé au prélèvement de lait.

¹ La case « M. m » est cochée lorsque les résultats présentés sont ceux correspondant au Meilleur modèle par comparaison des AIC. Par ailleurs, pour chaque type (« continue » ou « catégorielle ») les résultats présentés sont ceux du modèle avec l'AIC la plus faible lorsque les deux (avec ou sans prise en compte de la demi-journée) étaient associés à un effet significatif du Δ NEC₂→3 ou du Δ NEC₁→3.

² p value associée à la significativité globale de l'effet considéré dans le modèle, telle que : * : p value < 0,05 ; ** : p value < 0,01 ; *** p value < 0,001.

- Variations de NEC entre fin de gestation et allaitement-traite et composition du lait en allaitement-traite :

La tendance générale est la suivante : une variation de NEC entre la fin de gestation et l'allaitement-traite influence la composition fine du lait en allaitement-traite.

En allaitement-traite, dans le Rayon de Roquefort, une perte d'état corporel se traduit par une diminution de la proportion d'acides gras saturés à courtes chaînes (C6:0, C8:0, C10:0, C12:0) au profit des acides gras monoinsaturés (principalement les C18:1), avec une variation de 2,8 +/- 0,7% (p<0.001) pour la perte d'un demi-point de note d'état corporel. Une très légère hausse de la teneur en acide gras saturés C18:0 est aussi mise en évidence (0,6 +/- 0,3% ; p<0.001 une perte d'état de 0,5 point). La proportion de nombreux acides gras est très souvent influencée par la taille de portée, avec une tendance à l'augmentation des acides gras saturés au détriment des acides gras insaturés chez les brebis ayant 1 ou 3 agneaux, par comparaison aux brebis allaitant 2 agneaux.

Dans les Pyrénées-Atlantiques, les résultats sont moins tranchés et ce sont principalement les brebis reprenant strictement 0,25 point de NEC qui se distinguent par : une diminution de la proportion d'acides gras insaturés totaux (de l'ordre de 7,6 +/- 3,0 %) mais une augmentation marquée des acides gras polyinsaturés (notamment C18:3n3) et modérée du C18:1c9. En parallèle, on observe une augmentation significative de la part des acides gras saturés totaux, concernant principalement ceux à moyenne chaîne (C14:0 et C16:0). En dehors de l'influence de la variation de NEC, selon les composants considérés, les effets d'autres variables ont pu être mis en évidence : la taille de portée (brebis simples : proportions d'acides gras insaturés diminuées et particulièrement les monoinsaturés), le rang de lactation, le jour en lait ou la demi-journée de prélèvement (primipares / avancement de la lactation / prélèvement l'après-midi : diminution de la part des acides gras saturés au profit principalement des acides gras monoinsaturés).

Par ailleurs, on observe dans les deux bassins de production une modification du taux protéique en allaitement-traite. Chez les brebis Lacaune on assiste à une diminution de 1,4 +/- 0,5 % pour une perte de 0,5 point de NEC (p<0.01). La teneur en matière protéique étant également influencée par la taille de portée (avec un lait plus riche chez les brebis simples). Dans les Pyrénées-Atlantiques, les brebis perdant strictement 0,25 point de NEC présentent une diminution du taux protéique de 13,9 +/- 4,1% soumis également à un effet du jour en lait au prélèvement (tendance à la diminution du taux protéique avec l'avancement de la lactation).

- Variations de NEC entre allaitement-traite et premier contrôle laitier et composition du lait au premier contrôle laitier :

Concernant les variations de NEC entre allaitement-traite et premier contrôle laitier en Rayon de Roquefort, leur effet se manifeste principalement par une modification de la teneur en matière grasse du lait (avec une hausse de 7,0 +/- 2,6 g/L pour une perte de 0,5 point de NEC ; $p < 0.01$), sans modification majeure du profil en acides gras. Cette teneur en matière grasse est également sous dépendance du rang de lactation avec des teneurs en matières grasses plus élevées chez les brebis de rang 3 et plus.

- Variations de NEC entre fin de gestation et premier contrôle laitier et composition du lait au premier contrôle laitier :

La tendance générale est la suivante : une variation de NEC entre fin de gestation et le premier contrôle laitier influence la composition fine du lait au premier contrôle laitier.

Sur le lait récolté au 1^{er} contrôle laitier dans le Rayon de Roquefort, une perte d'état se traduit par une diminution de proportion d'acides gras saturés à courtes et moyennes chaînes (C6:0, C12:0, C16:0) au profit des acides gras insaturés (principalement les C18:1), avec une variation de 1,4 +/- 0,4% ($p < 0.01$) pour la perte d'un demi-point de note d'état corporel. En revanche, contrairement à la tendance générale des acides gras saturés, on observe une très forte augmentation de la part du C14:0 (13,1 +/- 3,4% ; $p < 0.001$) pour les brebis perdant au moins 0,75 point de NEC.

Par ailleurs, le profil en acide gras au premier contrôle laitier est soumis à des effets de la taille de portée (hausse des acides gras saturés à courte chaîne au détriment des acides gras monoinsaturés chez les brebis ayant au moins 3 agneaux), du jour en lait (principalement une diminution du C18:1 au cours de la lactation) et de la demi-journée de prélèvement (prélèvement l'après-midi : diminution de la teneur en acides gras saturés au profit principalement des acides gras monoinsaturés)

III.3.4. Mise en relation des variations des NEC avec les concentrations en BHB et AGNE sanguins

L'ensemble des résultats commentés ci-dessous sont présentés dans les Tableau 23 à Tableau 26 (pages 118 à 125).

Dans le Rayon de Roquefort, seules les concentrations sanguines en BHB et AGNE mesurées en allaitement-traite sont influencées par les pertes d'état corporel. Concernant le

BHB, une perte de 0,5 point de NEC est associée à une augmentation de $0,10 \pm 0,04$ mmol/L ($p < 0,05$), pour une valeur moyenne de référence à $0,77 \pm 0,09$ mmol/L. La concentration en BHB sanguin est également dépendante d'un effet taille de portée (avec des concentrations majorées d'environ 0,10 mmol/L chez les brebis doubles par comparaison aux simples ou triples) et d'un effet rang (avec des concentrations majorées d'environ 0,15 mmol/L chez les brebis de rang supérieur ou égal à 3). Les AGNE augmentent quant à eux de $0,08 \pm 0,02$ mmol/L ($p < 0,001$) lors d'une perte de 0,5 point de NEC, avec une valeur moyenne de référence de $0,28 \pm 0,7$ mmol/L. Par ailleurs, la concentration en AGNE sanguins n'est soumise qu'à un effet taille de portée (brebis simple : valeur inférieure d'environ 0,06 mmol/L et brebis triple : valeur inférieure d'environ 0,11 mmol/L).

Chez les brebis Lacaune, aucun effet des variations de note d'état corporel (entre fin de gestation et premier contrôle laitier ou entre l'allaitement-traite et le premier contrôle laitier) sur les concentrations en BHB et AGNE mesurées au premier contrôle n'a été démontré.

D'autre part, chez les brebis pyrénéennes, aucun lien entre les variations de NEC entre la fin de gestation et l'allaitement-traite et les concentrations en métabolites sanguins évaluées en allaitement-traite n'a pu être mis en évidence.

IV. DISCUSSION

IV.1. Résultats de l'étude

IV.1.1. Méthodes de mesure des métabolites sanguins BHB et AGNE

IV.1.1.1. Utilisation du lecteur Freestyle® Optium NEO (Abbot)

L'utilisation du lecteur portable (Freestyle® Optium NEO) au chevet de l'animal est une méthode fiable ($r^2 = 0.94$) d'évaluation des concentrations sanguines en BHB sanguin, considérant une légère surestimation par comparaison à la méthode de référence (réaction enzymatique en point final).

Les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec ceux de la littérature, notamment avec les travaux chez la brebis de Panousis et al. (2012), Hornig et al. (2013), Pichler et al. (2014), Panousis et al. (2018) et Araújo et al. (2020). A titre d'exemple, Araújo et al. (2020) ont montré une très bonne corrélation ($r^2 = 0.98$) entre l'utilisation du lecteur portable Optium Xceed® (Abbot) et la méthode de référence.

IV.1.1.2. Utilisation de la méthode « flash » ENVT pour la mesure des concentrations en AGNE sanguins

L'utilisation de la méthode dite « flash » pratiquée à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse est une excellente alternative ($r^2 = 0.95$) à la méthode de référence en laboratoire. Toutefois, elle implique une sous-estimation systématique de l'ordre de 30% des valeurs de concentrations en AGNE sanguins.

La sous-estimation peut être due en partie à l'utilisation de plasma hépariné pour la réalisation des dosages, le fournisseur du kit de dosage enzymatique (Instruchemie®) conseillant de privilégier le dosage sur sérum ou plasma EDTA.

IV.1.2. Cinétique journalière des métabolites sanguins BHB et AGNE

IV.1.2.1. Cinétique journalière du BHB sanguin

A l'échelle individuelle, la cinétique journalière du BHB sanguin est relativement variable et d'autant plus sur la période d'allaitement-traite.

Toutefois, à l'échelle collective, des cinétiques moyennes se dessinent : les concentrations en BHB sanguin sont relativement stables au cours de la journée en période

d'allaitement-traite, tandis qu'au premier contrôle laitier, elles augmentent 2,5 heures après le repas et se maintiennent élevées jusqu'à 7,5 heures après. Au premier contrôle laitier, l'utilisation des concentrations en BHB pour caractériser le statut énergétique des brebis peut difficilement s'affranchir de l'appréciation du délai entre le prélèvement et le dernier repas.

A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à la cinétique diurnale du BHB sanguin chez la brebis. En revanche, cette cinétique a été étudiée chez la vache laitière la première semaine post-partum pour Quiroz-Rocha et al. (2010) et entre 3 et 9 jours post-partum pour Seely et al. (2021). Les résultats obtenus par Quiroz-Rocha et al. (2010) sont similaires à ceux obtenus dans notre étude pour la période d'allaitement-traite, avec une faible influence du délai par rapport au repas sur la proportion de vaches supérieures au seuil de 1,4 mmol/L. A l'inverse, Seely et al. (2021) montrent une cinétique diurnale post-partum ressemblant aux résultats que nous avons obtenus pour la période du premier contrôle laitier, mais pas pour la période d'allaitement-traite (analogue au post-partum).

Outre l'influence du délai par rapport au dernier repas, la composition de la ration influence également la cinétique du BHB de manière non négligeable, avec des cinétiques très différentes observées entre une ration majoritairement composée d'ensilage d'herbe (élevage « CA » en allaitement-traite) ou suite à l'incorporation d'ensilage de maïs (élevage « CA » au premier contrôle laitier) favorisant la synthèse de butyrate ruminal.

IV.1.2.2. Cinétique journalière des AGNE sanguins

A l'échelle individuelle, il existe une certaine variabilité de la cinétique des AGNE sanguins, cependant, celle-ci est bien moins importante que celle observée pour le BHB sanguin.

Concernant les cinétiques moyennes, les concentrations en AGNE sanguins sont minimales 2,5 heures après le repas en allaitement-traite comme au premier contrôle laitier, avec des valeurs nettement plus faibles quel que soit le moment de la journée pour ce dernier.

A l'instar du BHB sanguin, aucune étude ne s'est intéressée, à notre connaissance, à la cinétique journalière des AGNE sanguins chez la brebis. Les résultats que nous avons obtenus sont en revanche un peu différents de ceux rapportés dans la littérature chez la vache laitière. En effet, la concentration est maximale avant le repas, puis faibles entre 6 et 18 heures après (Seely et al. 2021). La diminution des concentrations en AGNE sanguins après le repas semblent plus précoce et transitoire dans notre étude.

IV.1.3. Pertinence des indicateurs du bilan énergétique négatif chez la brebis laitière en début de lactation

IV.1.3.1. Métabolites sanguins

Dans cette étude, aucun lien entre les variations de NEC entre la fin de gestation et l'allaitement-traite et les concentrations en métabolites sanguins évaluées en allaitement-traite n'a pu être mis en évidence chez les brebis pyrénéennes. Ces résultats peuvent s'expliquer pour partie par un manque de puissance statistique due aux faibles variations de note d'état corporel au sein de l'échantillon de brebis prélevées.

Par ailleurs, les concentrations en BHB sanguin mesurées au premier contrôle, sont, de manière surprenante supérieure à celles obtenues en période d'allaitement-traite (évolution inverse aux résultats attendus dans le cadre d'une reprise d'état, même minime entre ces deux points).

En revanche, les concentrations en AGNE sanguins sont largement supérieures en allaitement-traite à celles obtenues au premier contrôle laitier et compatibles avec une reprise d'état entre ces deux points de mesures.

Dans le Rayon de Roquefort, seules les concentrations des métabolites sanguins mesurées en allaitement-traite sont influencées par la variation d'état corporel. Une perte d'état de 0,5 point de NEC est associée d'une part à une augmentation de 0,10 +/- 0,04 mmol/L ($p < 0.05$) de la concentration sanguine en BHB (valeur moyenne : 0,77 +/- 0,09 mmol/L) et d'autre part d'une augmentation de 0,08 +/- 0,02 mmol/L de la concentration en AGNE sanguins (valeur moyenne : 0,28 +/- 0,07 mmol/L). D'autres effets sont mis en évidence en allaitement-traite : les concentrations sanguines en BHB sont positivement corrélées à la taille de portée et au rang de lactation, tandis que les concentrations sanguines en AGNE sont influencées par la taille de portée uniquement (valeurs maximales pour les brebis ayant deux agneaux). Ces résultats concordent avec ceux précédemment obtenus par González-García et al. (2015).

Dans cette étude, aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les concentrations en BHB mesurées durant la période d'allaitement-traite et au premier contrôle laitier dans le Rayon de Roquefort.

De plus, aucun lien entre les variations de NEC entre la fin de gestation ou l'allaitement-traite et le premier contrôle et les concentrations en métabolites sanguins évaluées en allaitement-traite ou au premier contrôle n'a pu être mis en évidence chez les brebis Lacaune.

A nouveau, ces résultats peuvent s'expliquer pour partie par un manque de puissance statistique : contrairement aux brebis pyrénéennes, les brebis Lacaune de cette étude présentent de plus fortes amplitudes de variation de NEC ; cependant, les valeurs extrêmes sont sous-représentées, la très grande majorité des brebis sont centrées sur les valeurs associées à de faibles variations. D'autre part, aucune différence n'est observée entre les concentrations sanguines en BHB en allaitement-traite et celles mesurées au premier contrôle laitier. Ce résultat s'explique partiellement par la composition de la ration distribuée. Par exemple pour l'élevage « CA », les teneurs en BHB sanguins au premier contrôle laitier peuvent être mis en regard de l'utilisation d'ensilage de maïs dans la ration (contre une utilisation d'ensilage d'herbe en allaitement-traite), orientant le profil d'acides gras volatils formés dans le rumen vers une synthèse accrue de butyrate. Celui est alors transporté par voie sanguine sous forme de BHB, se confondant avec celui issu de la cétoxygénèse hépatique. Un autre exemple concerne l'élevage « VE » pour lequel les concentrations en BHB sanguin sont supérieures (quelle que soit la visite) à celles observées dans les autres élevages du Rayon de Roquefort et qui se distingue par l'utilisation de betteraves fourragères, favorisant elles aussi la production de butyrate ruminal.

Ainsi, les BHB et AGNE sanguins semblent être de bons indicateurs d'un bilan énergétique négatif entre fin de gestation et allaitement-traite. En revanche, l'extrapolation de leur utilisation au premier contrôle laitier n'apparaît pas comme pertinente dans le cadre de notre étude, compte tenu des limites de puissance déjà évoquées. En ce sens, dans la littérature, les études exploitant ces métabolites chez la vache se concentrent sur les périodes pré- et post-partum immédiates.

IV.1.3.2. Production et composition du lait

La production laitière répond différemment d'un bassin à l'autre à la variation de NEC. Dans le Rayon de Roquefort, la perte d'état entre fin de gestation et allaitement-traite est associée à une hausse de la production laitière de référence à 50 jours, et aucun effet des variations d'état corporel n'est montré pour la production laitière de référence à 160 jours. Dans les Pyrénées-Atlantiques, une perte d'état entre la fin de gestation et l'allaitement-traite pénalise les productions laitières de référence à 50 et 160 jours.

Ces observations antagonistes sont à mettre en parallèle avec l'état corporel en fin de gestation des brebis : dans le Rayon de Roquefort, les brebis sont en état avec une très grande majorité des NEC comprises entre 2,75 et 3,25 ; à contrario, les brebis pyrénéennes démarrent leur lactation avec des NEC comprises entre 2,25 et 2,5. Tandis que les brebis Lacaune sont en

mesure de puiser dans leur réserves au profit d'une hausse de la production laitière, chez les brebis pyrénéennes on observe plutôt un épuisement des réserves déjà relativement restreintes.

La production laitière est influencée par la variation d'état corporel, toutefois il est difficile d'envisager qu'elle puisse constituer un véritable indicateur, le sens de variation étant dépendant de l'état d'engraissement en fin de gestation des brebis.

Concernant l'évolution des taux butyreux et protéique, notre étude a montré une diminution du taux protéique en allaitement-traite suite à une perte d'état quel que soit le bassin considéré et une augmentation du taux butyreux au premier contrôle laitier, uniquement associée à une perte d'état entre l'allaitement-traite et le premier contrôle dans le Rayon de Roquefort.

Ces résultats remettent en cause l'utilisation du rapport de ces taux. En allaitement-traite, l'utilisation du ratio TB/TP n'est pas pertinente car la variation de NEC ne présentent pas d'effet significatif sur la valeur du TB et à l'inverse présente un effet sur le TP qui est habituellement considéré comme étant stable et utilisé pour corriger la variabilité individuelle des taux. Au premier contrôle laitier, son utilisation semble intéressante, mais son interprétation est restreinte : une hausse du rapport TB/TP traduit une perte d'état entre allaitement-traite et premier contrôle uniquement. Ces éléments semblent en accord avec les observations précédemment faites chez la vache laitière quant au manque de sensibilité de cet indicateur (Duffield et al. 1997; Krogh, et al. 2011).

La composition fine du lait, évaluée par spectrométrie MIR est soumise à l'influence de la variation de note d'état corporel. La composition fine du lait en allaitement-traite est dépendante de la variation de NEC entre fin de gestation et allaitement-traite, tandis que la composition fine du lait au premier contrôle est soumise à la variation de NEC entre la fin de gestation et le premier contrôle. Nous n'avons en revanche pas pu mettre en évidence d'influence de la variation d'état corporel entre allaitement-traite et premier contrôle sur la composition fine du lait évaluée au premier contrôle.

Conformément à la littérature, une perte d'état des brebis dans le Rayon de Roquefort se traduit par une diminution significative de la proportion en acides gras saturés au profit des acides gras monoinsaturés. Inversement, dans les Pyrénées-Atlantiques les rares brebis reprenant 0,25 point de NEC se distinguent par une diminution significative de la teneur en acides gras insaturés totaux, et une augmentation significative de la teneur en acides gras

saturés. Cette balance entre les acides gras insaturés et saturés est le reflet de l'origine double des acides gras du lait. Lorsque les réserves graisseuses sont mobilisées, on observe une augmentation de la capture des AGNE sanguins par la mamelle à l'origine des acides gras insaturés et acides gras saturés à 16 et 18 carbones, au détriment de la synthèse *de novo*.

Toutefois, nous soulignons un résultat particulièrement surprenant : la hausse des teneurs en C18:3n3 et en C18:1c9 chez les brebis pyrénéennes reprenant 0,25 points de NEC entre la fin de gestation et l'allaitement-traite. Cette observation est à l'opposé des conclusions de Khiaosa-ard et al. (2020) qui ont montré chez la vache laitière une élévation de la teneur du lait en C18:1c9 en début de lactation. Le C18:1c9 n'ayant pas été déterminé chez les brebis Lacaune, il est impossible de confronter ce résultat. Nous soulignons toutefois que la concentration en C18:1c9 se distingue par une forte variabilité diurnale (Seely et al. 2022) et la concentration en C18:3n3 dans le lait est fortement influencée par la teneur en C18:3n3 de la ration qui augmente avec la quantité et la qualité du foin distribuée (Khiaosa-ard et al. 2020).

Il est indispensable de garder à l'esprit que le profil en acides gras est modifié par de très nombreux éléments, d'influence variable selon l'acide gras considéré : la taille de portée, la parité, le stade de lactation, le délai au dernier repas. Mais la multiplicité des concentrations en acides gras mesurées permet d'atténuer les effets de ces biais d'interprétation.

IV.2. Limites de l'étude

IV.2.1. Représentativité de l'échantillon étudié

Cette étude est adossée au projet H2020 SMARTER et s'intègre plus particulièrement dans le cadre du projet Carnot France Futur Elevage IRMA. Les brebis prélevées dans le cadre de l'étude sont un échantillon de toutes les brebis participant au projet H2020 SMARTER avec en grande majorité des brebis en seconde lactation (sauf « CA » : variable entre 2 et 7 ; « GP » : 3 et 4) appartenant au lot principal d'insémination artificielle. Par conséquent, la représentativité des brebis incluses dans cette étude est forcément moins importante que celle obtenue dans le cadre du projet H2020 SMARTER qui est moins restrictif.

Les différences zootechniques majeures entre les deux bassins de production considérés nous ont conduit à considérer séparément les résultats obtenus dans le Rayon de Roquefort et ceux obtenus dans les Pyrénées-Atlantiques. Bien que permettant d'apprécier les conséquences de conduites d'élevage distinctes, cette séparation implique une perte de puissance statistique par la réduction des effectifs.

Par ailleurs, au sein d'un même bassin de production, la variabilité des états corporels était relativement réduite : dans les Pyrénées-Atlantiques les NEC sont peu dispersées et les variations entre deux points de mesure très faibles ; dans le Rayon de Roquefort, les NEC et leur variation entre deux points sont plus diversifiées, mais la majorité des effectifs se concentrent sur des valeurs associées à de faibles amplitudes de variation, entraînant une sous-représentation des brebis « extrêmes ». Cette faible représentation des variations extrêmes a sans aucun doute limité la puissance statistique permise pour la mise en évidence d'une relation entre le profil de variation de NEC et les métabolites sanguins ou la composition fine du lait.

IV.2.2. Construction du protocole et coordination des acteurs impliqués

Pour des raisons logistiques les prélèvements de sang et de lait et les évaluations des notes d'état corporel au cours de la campagne 2021 sont intervenus à des stades de lactations (évalué par le « jour en lait ») variables entre les brebis d'un même élevage, et surtout entre les différents troupeaux et à des heures de la journée variables entre les différents troupeaux.

De même, l'étude de la cinétique journalière des métabolites sanguins est intervenue sur la campagne 2022. Or, la mise en évidence de variation diurnale des concentrations en BHB et AGNE sanguins n'est pas sans conséquence pour la construction du protocole des prélèvements voués à caractériser les liens entre la dynamique des réserves corporelles et les indicateurs métaboliques associés.

Par conséquent, il existe une certaine variabilité intra- et inter-élevage du moment de prélèvement associé à la « fin de gestation », l'« allaitement-traite » et au « premier contrôle laitier ». L'inclusion dans les modèles de régression linéaire des effets de la « demi-journée de prélèvement » et du « jour en lait » avait pour objectif de compenser au moins partiellement la variabilité des délais de prélèvement par rapport au dernier repas et par rapport à la mise-bas. En revanche, certains paramètres n'ont pas pu être intégrés aux modèles comme, par exemple, les délais en jours entre les mesures de NEC en raison de confusion avec l'effet aléatoire associé à l'élevage. A ce sujet, l'effet aléatoire élevage était significativement impactant pour la plupart des modèles étudiés. Les différences de conduite de troupeau, d'environnement, d'alimentation ont des conséquences sur les différents indicateurs évalués.

D'autre part, la collecte des données exploitées dans cette étude a été soumise à la collaboration de plusieurs entités (ENVT, techniciens d'élevages, laboratoire d'analyse

vétérinaire...). Cette multiplicité des acteurs et leur coordination est fortement impliquée dans le manque d'exhaustivité des données collectées (NEC évaluées sur les brebis d'un millésime différent de celui étant prélevé, délai trop important entre premier contrôle laitier et évaluation des NEC, spectre MIR issus des équations bovines et non ovines, résultats MIR indisponibles pour 2 élevages, absence d'évaluation du C18:1c9 du lait des brebis Lacaune, ...). La résultante directe a été une réduction des données disponibles et exploitables pour cette étude.

A titre d'exemple, un recueil quantitatif et qualitatif des rations a été réalisé par les techniciens dans le cadre du projet SMARTER entre la fin de gestation et le premier contrôle laitier. Malheureusement, ces données sont apparues difficilement exploitables en raison, entre autres, d'informations parfois incomplètes ou vraisemblablement erronées, de changements alimentaires mal renseignés, d'analyse de fourrages manquantes et de l'absence d'estimation des refus. Ces données n'ont donc pas été exploitées dans le cadre de ce travail.

IV.2.3. Analyse des données

IV.2.3.1. Caractérisation des variations de note d'état corporel

Initialement, nous souhaitions approcher les variations de NEC par la définition de véritables « profils de variation ». Dans un premier temps, nous avons déterminé des profils « stricts » basés sur la concaténation de la valeur de NEC en fin de gestation, de la variation en allaitement-traité puis de la variation entre allaitement-traité et premier contrôle. Selon cette méthode, 67 profils différents ont été obtenus, dont 6 étaient majoritaires et 61 concernaient moins de 10 brebis. Trop restrictifs, ces profils n'étaient pas statistiquement exploitables.

Dans un second temps, des profils ont été déterminés selon les règles suivantes : valeur de NEC 1 (fin de gestation) : « inférieure ou égale à 2,5 », « comprise entre 2,75 et 3,25 », « supérieure ou égale à 3,5 » ; différence entre NEC1 et NEC2 (allaitement-traité) et différence entre NEC2 et NEC3 (premier contrôle laitier) : « augmentation supérieure ou égale à 0,5 point », « stabilité avec une tolérance de 0,25 points », « diminution supérieure ou égale à 0,5 point ». Ces règles de décisions ont permis d'obtenir 13 profils dont 4 majoritaires (88,9% des brebis incluses). Les essais successifs ont mis en évidence que selon les bornes des règles de décisions retenues, les brebis passaient très facilement d'un profil à l'autre.

Cependant, l'exploitation de ces profils de variation n'a présenté aucun avantage lorsqu'ils étaient appliqués aux données du projet H2020 SMARTER (effectifs conséquents) par rapport à l'utilisation des valeurs numériques des variations de NEC deux à deux. D'autres parts les effectifs des brebis de cette étude étaient fortement déséquilibrés entre les 4 profils

majoritaires. Il a donc été choisi de finalement privilégier l'utilisation des valeurs numériques sans construction de profils complexes.

IV.2.3.2. Résultats des modèles de régression linéaire mixtes

En moyenne, quatre modèles de régression linéaire mixtes ont été appliqués pour chaque variable réponse. La multiplicité des résultats obtenus nous a conduit à appliquer des choix relatifs à la présentation des résultats.

Seuls les résultats des modèles pour lesquels la variable associée à la variation de NEC avait un effet significatif sur la variable réponse sont présentés. La comparaison des différents modèles a été réalisée par la comparaison des critères d'information d'Akaike (AIC). Lorsque plusieurs modèles étaient associés à un effet significatif de la variable associée à la variation de NEC (sous forme continue ou catégorielle), les résultats présentés sont ceux associés aux modèles présentant l'AIC le plus faible. Toutefois, à de nombreuses occurrences, les différences entre AIC étaient inférieures à 2 (aucun modèle n'étant alors « plus explicatif » que l'autre).

IV.3. Perspectives d'application et poursuite du travail initié

IV.3.1. Perspectives d'application

Bien que les BHB et AGNE sanguins se soient révélés être de bons indicateurs précoces d'un déficit énergétique (et par conséquent d'une perte d'état corporel) entre la fin de la gestation et l'allaitement-traite, la réalisation de prélèvement sanguin sur un grand nombre de brebis en allaitement-traite est difficile à mettre en œuvre en routine.

En filière laitière, l'exploitation du prélèvement de lait présente plusieurs avantages : le caractère non invasif du prélèvement, la facilité d'accès, et sa collecte au tank déjà pratiquée en routine en période de traite exclusive.

Toutefois, à ce jour, le lait issu du premier contrôle laitier est le seul à être collecté en routine à l'échelle individuelle. Le travail réalisé dans cette étude montre que l'exploitation de la composition fine du lait, collecté au premier contrôle, évaluée par le spectre MIR peut-être exploitée pour caractériser le métabolisme énergétique des brebis et plus particulièrement être le reflet de la mobilisation des réserves entre la fin de gestation et le premier contrôle.

Une collecte systématique du lait individuel en allaitement-traite nécessiterait un ajustement des pratiques et des circuits d'information. Cependant, l'exploitation de la composition fine du lait d'allaitement-traite présente un réel avantage : la précocité d'évaluation du déficit énergétique et la possibilité de mise en place de mesures correctrices immédiates. Toutefois une question subsiste quant à la représentativité du lait collecté en allaitement-traite en raison d'une consommation partielle de ce dernier par les agneaux pouvant influencer la composition du lait résiduel.

Néanmoins, bien que cette étude ait permis de montrer des effets de la variation d'état corporel traduisant le déficit énergétique sur la composition fine du lait, l'exploitation de ces données en routine nécessite la définition d'indicateurs et de seuils pour fixer des critères de décision.

IV.3.2. Améliorations et poursuite du travail initié

Une partie des données indisponibles à ce jour dans pourront être récupérées a posteriori et permettre un approfondissement du travail présenté dans ce manuscrit. Notamment, l'évaluation complète des spectres MIR (avec un plus grand nombre d'éléments du lait quantifiés) issues de l'utilisation des équations ovines déterminées dans le cadre du programme PHENOFINLAIT (Gelé et al. 2014) et de nouvelles prédictions (notamment urée et AGNE) qui permettront une extension de l'exploration de la composition fine et une meilleure estimation des teneurs du lait de brebis. Ces données constitueront un pas supplémentaire vers le choix d'indicateurs et la détermination de seuils.

Par ailleurs, le projet H2020 SMARTER représente l'opportunité d'affiner les résultats obtenus de manière préliminaire concernant les liens entre la dynamique des réserves corporelles et les éléments de production et de composition du lait au premier contrôle, par extension à un échantillon bien plus conséquent (toutes les brebis des élevages sur plusieurs campagnes). En revanche les données les dosages de BHB et AGNE sanguins et l'évaluation du lait en allaitement-traite ne sont pas disponibles pour l'ensemble de ces brebis.

Nous avons souligné précédemment que la collecte du lait individuel en allaitement-traite nécessiterait un ajustement contraignant des pratiques. Deux solutions pourraient être envisagées pour limiter ces contraintes : (i) restreindre les prélèvements individuels à une partie du troupeau, comme réalisé dans le cadre de notre étude, en considérant toutes les limites liées à la représentativité de l'échantillon ; (ii) l'exploitation du lait de tank à la place du lait individuel. L'utilisation du lait de tank permettrait d'une part de faciliter le prélèvement et d'autre part de permettre la multiplicité des prélèvements dans le temps tout en limitant le

nombre d'analyse, permettant éventuellement la mise en évidence de variations sur des pas de temps réduits (quelques jours). Toutefois, il est difficile de savoir à priori si l'effet dilution par le tank permettra la mise en évidence de variation nette à l'échelle collective considérant l'importante variabilité individuelle que nous avons pu mettre en évidence.

Enfin, nous avons évoqués à plusieurs reprises l'influence de la composition de la ration sur la composition fine du lait et les teneurs en BHB sanguins. Le manque de précision et d'exhaustivité des données recueillies à ce sujet n'ont pas permis l'exploitation de ces données dans le cadre de ce manuscrit. La poursuite du travail initié, dans le cadre du projet IRMA 2024 s'attachera à inclure une caractérisation fine des données des rations distribuées aux brebis incluses dans l'étude.

V. CONCLUSION

Cette étude s'est attachée à évaluer l'intérêt de l'utilisation du dosage des métabolites sanguins (BHB et AGNE) déjà largement utilisés chez la vache laitière, ainsi que la composition fine du lait déterminée par spectrométrie MIR (en plein essor) pour la caractérisation du métabolisme énergétique des brebis laitière en début de lactation. Elle s'est intéressée plus particulièrement à la période d'allaitement-traite qui est, à ce jour, une véritable « boîte noire » en termes d'indicateurs de conduite d'élevage.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les concentrations sanguines en BHB et AGNE sanguins sont des indicateurs difficiles (i) à recueillir car ils nécessitent la mise en place de chantier de prélèvements sanguins contraignants et chronophages, difficilement applicables en routine sur de grands effectifs ; et (ii) à interpréter sans une évaluation rigoureuse de la composition de la ration et du délai séparant le prélèvement sanguin du dernier repas.

A l'inverse, la composition fine du lait présente de nombreux avantages, notamment (i) la facilité d'accès des prélèvements qui sont d'une part, non invasifs et d'autre part, facilement répétables dans le temps sans contraintes logistiques supplémentaires ; et (ii) la multiplicité des indicateurs associés permettant de restreindre les effets de biais liés à la parité, la taille de portée entre autres. Toutefois, l'alimentation présente une influence majeure sur le profil en acides gras du lait et la prise en compte de la composition fine et longitudinale de la ration est indispensable. Les données disponibles dans le cadre de ce travail n'ont pas permis cette analyse et ce manque sera corrigé dans le cadre du projet IRMA 2024 qui s'attachera à une analyse fine des données relatives à l'alimentation des brebis.

Des liens entre ces différents indicateurs et l'évolution des notes d'état corporel en début de lactation semblent exister, mais ce travail préliminaire nécessite d'être conforté par une étude à plus grande échelle, incluant une plus grande variabilité des notes d'état corporel afin d'aboutir à la détermination de valeurs seuils. Au-delà des caractérisations à l'échelle individuelle, une perspective repose sur l'exploitation du lait de tank pour un pilotage collectif. L'utilisation du lait de tank permettrait la mise en place d'un suivi longitudinal encore plus fin avec la possibilité d'analyses répétées dans le temps. Cette hypothèse sera explorée dans quelques élevages dans le cadre du projet IRMA 2024.

VI. BIBLIOGRAPHIE

ABUELO, A., BRESTER, J. L., STARKEN, K. et NEUDER, L. M., 2020. Technical note: Comparative evaluation of 3 methods for the quantification of nonesterified fatty acids in bovine plasma sampled prepartum. *Journal of Dairy Science*. mars 2020. Vol. 103, n° 3, pp. 2711-2717. DOI 10.3168/jds.2019-17527.

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>

Arrêté du 17 janvier 2022 relatif à la modification du cahier des charges de l'appellation d'origine protégée « Roquefort », 2022. [en ligne]. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045068435>

Arrêté du 22 décembre 2022 relatif à la modification temporaire du cahier des charges de l'appellation d'origine protégée (AOP) « Roquefort », 2022. [en ligne]. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046806970?init=true&page=1&query=roquefort&searchField=ALL&tab_selection=all

Arrêté du 22 novembre 2022 relatif à la modification temporaire du cahier des charges de l'appellation d'origine protégée (AOP) « Ossau-Iraty », 2022. .

BAUMAN, D.E., MCGUIRE, M.A. et HARVATINE, K.J., 2011. Mammary gland, milk biosynthesis and secretion | Milk Fat. In : *Encyclopedia of Dairy Sciences* [en ligne]. Elsevier. pp. 352-358. [Consulté le 27 août 2023]. ISBN 978-0-12-374407-4. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123744074002922>

BOBBO, T., PENASA, M. et CASSANDRO, M., 2020. Genetic Parameters of Bovine Milk Fatty Acid Profile, Yield, Composition, Total and Differential Somatic Cell Count. *Animals*. 16 décembre 2020. Vol. 10, n° 12, pp. 2406. DOI 10.3390/ani10122406.

BOCQUIER, F., AUREL, M.-R., BARILLET, Francis F., JACQUIN, M., LAGRIFFOUL, G. et MARIE, C., 1999. Effects of partial milking during the suckling period on milk production of Lacaune dairy ewes. In : *6. International Symposium on the Milking of Small Ruminants, Milking and milk production of dairy sheep and goats* [en ligne]. Athens, Greece : Edition INRA. 1999. [Consulté le 23 août 2023]. Milking and milk production of dairy sheep and goats, -,95. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02770634>

BOCQUIER, F. et CAJA, G., 2001. Production et composition du lait de brebis : effets de l'alimentation. *INRAE Productions Animales*. 16 avril 2001. Vol. 14, n° 2, pp. 129-140. DOI 10.20870/productions-animales.2001.14.2.3734.

BOICHARD, D., GOVIGNON-GION, A., LARROQUE, H., MAROTEAU, C., PALHIÈRE, I., TOSSER-KLOPP, G., RUPP, R., SANCHEZ, M.P. et BROCHARD, M., 2014. Déterminisme génétique de la composition en acides gras et protéines du lait des ruminants, et potentialités de

sélection. *INRAE Productions Animales*. 21 octobre 2014. Vol. 27, n° 4, pp. 283-298. DOI 10.20870/productions-animales.2014.27.4.3074.

CESARANI, A., GASPA, G., CORREDDU, F., CELLESI, M., DIMAURO, C. et MACCIOTTA, N.P.P., 2019. Genomic selection of milk fatty acid composition in Sarda dairy sheep: Effect of different phenotypes and relationship matrices on heritability and breeding value accuracy. *Journal of Dairy Science*. avril 2019. Vol. 102, n° 4, pp. 3189-3203. DOI 10.3168/jds.2018-15333.

CORBIERE, F., ASTRUC, JM, COSTES-ORI, V, EL JABRI, M, FANCA, B, HASSOUN, P, MACHEFERT, C, MARIE-ETANCELIN, Christel, MEYNADIER, A et LAGRIFFOUL, G, 2022. Dynamique énergétique et des réserves corporelles en début de lactation chez les brebis laitières. *Rencontres Recherches Ruminants* [en ligne]. 2022. N° 26. Disponible à l'adresse : <https://www.journees3r.fr/spip.php?article5095>

Décret n° 2015-1225 du 2 octobre 2015 relatif à l'appellation d'origine protégée « Ossau-Iraty », 2015. [en ligne]. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031260163>

DÓREA, J. R. R., FRENCH, E. A. et ARMENTANO, L. E., 2017. Use of milk fatty acids to estimate plasma nonesterified fatty acid concentrations as an indicator of animal energy balance. *Journal of Dairy Science*. 1 août 2017. Vol. 100, n° 8, pp. 6164-6176. DOI 10.3168/jds.2016-12466.

DUFFIELD, T. F., KELTON, D. F., LESLIE, K. E., LISSEMORE, K. D. et LUMSDEN, J. H., 1997. Use of test day milk fat and milk protein to detect subclinical ketosis in dairy cattle in Ontario. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne*. novembre 1997. Vol. 38, n° 11, pp. 713-718.

ESVAN, S., DRAGAN, C., VARENNE, A., ASTRUC, J.-M., BARILLET, F., BOICHARD, D., BRUNSCHWIG, P., DUBRULLE, A., LAHALLE, F., FERLAY, A., LAGRIFFOUL, G., LARROQUE, H., LEGARTO, J., PALHIÈRE, I., PEYRAUD, J.-L., RUPP, R. et BROCHARD, M., 2010. PhénoFinlait, les résultats : Influence de l'alimentation, de l'état physiologique et de la génétique sur la composition en acides gras des laits de vache, brebis et chèvre. . 8 décembre 2010.

FERRO, M. M., TEDESCHI, L. O. et ATZORI, A. S., 2017. The comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of sheep and goats. *Translational Animal Science*. 1 décembre 2017. Vol. 1, n° 4, pp. 498-506. DOI 10.2527/tas2017.0056.

FUKUMORI, R., TAGUCHI, T., OETZEL, G. R. et OIKAWA, S., 2021. Performance evaluation of a newly designed on-farm blood testing system for determining blood non-esterified fatty acid and β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cows. *Research in Veterinary Science*. mars 2021. Vol. 135, pp. 247-252. DOI 10.1016/j.rvsc.2020.09.011.

GEB, 2022. Les chiffres clés du GEB - ovins. *Institut de l'Élevage* [en ligne]. 7 septembre 2022. [Consulté le 20 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-du-geb-ovins-2022>

GELÉ, M., MINERY, S., ASTRUC, J.-M., BRUNSCHWIG, P., FERRAND-CALMELS, M., LAGRIFFOUL, G., LARROQUE, H., LEGARTO, J., LERAY, O., MARTIN, P., MIRANDA, G., PALHIÈRE, I., TROSSAT, P. et BROCHARD, M., 2014. Phénotypage et génotypage à grande échelle de la composition fine des laits dans les filières bovine et caprine. *INRA Productions Animales*. 2014. Vol. 27, n° 4, pp. 255-268.

GONZÁLEZ-GARCÍA, E., TESNIERE, A., CAMOUS, S., BOCQUIER, F., BARILLET, F. et HASSOUN, P., 2015. The effects of parity, litter size, physiological state, and milking frequency on the metabolic profile of Lacaune dairy ewes. *Domestic Animal Endocrinology*. 1 janvier 2015. Vol. 50, pp. 32-44. DOI 10.1016/j.domaniend.2014.07.001.

HASSOUN, P., ALLAIN, C., MARNET, P. G., GONZALEZ-GARCIA, E., LARROQUE, H., VANBERGUE, E., DESSAUGE, F., DZIDIC, A., AUTRAN, P., PORTES, D., GUITARD, J. P., LAGRIFFOUL, G., TESNIÈRE, A., MORIN, E., BOISSIEU, C. De, MOULIN, C. H., LURETTE, A. et BARILLET, F., 2016. La monotraite quotidienne appliquée en brebis laitières de race Lacaune : Synthèse de cinq années de recherche. *INRAE Productions Animales* [en ligne]. 13 avril 2016. Vol. 29, n° 1. [Consulté le 4 septembre 2023]. DOI 10.20870/productions-animales.2016.29.1.2516. Disponible à l'adresse : <https://productions-animales.org/article/view/2516>

HERVÁS, G., TORAL, P. G., FERNÁNDEZ-DÍEZ, C., BADIA, A. D. et FRUTOS, P., 2021. Effect of Dietary Supplementation with Lipids of Different Unsaturation Degree on Feed Efficiency and Milk Fatty Acid Profile in Dairy Sheep. *Animals*. 23 août 2021. Vol. 11, n° 8, pp. 2476. DOI 10.3390/ani11082476.

HORNIG, K. J., BYERS, S. R., CALLAN, R. J., HOLT, T., FIELD, M. et HAN, H., 2013. Evaluation of a point-of-care glucose and β -hydroxybutyrate meter operated in various environmental conditions in prepartum and postpartum sheep. *American Journal of Veterinary Research*. août 2013. Vol. 74, n° 8, pp. 1059-1065. DOI 10.2460/ajvr.74.8.1059.

IDELE, 2022. Les filières lait de brebis autour de la Méditerranée : un développement très inégal. *Institut de l'Élevage* [en ligne]. 30 novembre 2022. N° 532. [Consulté le 20 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/dossier-filiere-ovins-lait-dossier-economie-de-lelevage-n-532-septembre-2022>

IDELE, 2023a. Dossier Annuel Ovins, Année 2022 - Perspectives 2023. *Institut de l'Élevage* [en ligne]. 19 avril 2023. N° 539. [Consulté le 20 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/dossier-annuel-ovins-annee-2022-perspectives-2023>

IDELE, 2023b. Référentiel technico-économique de l'élevage ovin lait. [en ligne]. 20 avril 2023. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : https://idele.fr/inosys-reseaux-elevage/publications/detail-article?tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Baction%5D=showArticle&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bcontroller%5D=Detail&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bpublication%5D=18641&cHash=c3a56e2f72275b1f7016b958c30e3bae

IDELE, 2023c. Résultats de contrôle laitier - France 2022. *Institut de l'Élevage* [en ligne]. 10 juillet 2023. [Consulté le 24 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/resultats-de-controle-laitier-france-2022>

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (éd.), 2010. *Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments tables Inra 2007*. Mise à jour 2010. Versailles : Éd. Quae. Guide pratique. ISBN 978-2-7592-0873-9. 406

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (éd.), 2018. *Alimentation des ruminants*. Versailles : Éditions Quae. ISBN 978-2-7592-2867-6. 636.208 5

JORJONG, S., VAN KNEGSEL, A.T.M., VERWAEREN, J., BRUCKMAIER, R.M., DE BAETS, B., KEMP, B. et FIEVEZ, V., 2015. Milk fatty acids as possible biomarkers to diagnose hyperketonemia in early lactation. *Journal of Dairy Science*. août 2015. Vol. 98, n° 8, pp. 5211-5221. DOI 10.3168/jds.2014-8728.

- KENYON, PR, MALONEY, SK et BLACHE, D, 2014. Review of sheep body condition score in relation to production characteristics. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2 janvier 2014. Vol. 57, n° 1, pp. 38-64. DOI 10.1080/00288233.2013.857698.
- KHIAOSA-ARD, R., KLEEFISCH, M.-T., ZEBELI, Q. et KLEVENHUSEN, F., 2020. Milk fatty acid composition reflects metabolic adaptation of early lactation cows fed hay rich in water-soluble carbohydrates with or without concentrates. *Animal Feed Science and Technology*. juin 2020. Vol. 264, pp. 114470. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2020.114470.
- KROGH, M.A., TOFT, N. et ENEVOLDSEN, C., 2011. Latent class evaluation of a milk test, a urine test, and the fat-to-protein percentage ratio in milk to diagnose ketosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. mai 2011. Vol. 94, n° 5, pp. 2360-2367. DOI 10.3168/jds.2010-3816.
- LABUSSIÈRE, J., COMBAUD, J.-F., PETREQUIN, P. et CHESNE, P., 1974. Influence de la fréquence des traites et des têtées sur la production laitière des brebis Préalpes du Sud. *Annales de zootechnie*. 1974. Vol. 23, n° 4, pp. 445-457.
- 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*. 1969. Vol. 18, n° 1, pp. 5-15.
- LAWLOR, M. J., LOUCA, A. et MAVROGENIS, A., 1974. The effect of three suckling regimes on the lactation performance of Cyprus fat-tailed, Chios and Awassi sheep and the growth rate of the lambs. *Animal Science*. juin 1974. Vol. 18, n° 3, pp. 293-299. DOI 10.1017/S0003356100022467.
- LEGARTO, J, GELÉ, M, FERLAY, A, HURTAUD, C, LAGRIFFOUL, G et PALHIÈRE, I, 2014. Effets des conduites d'élevage sur la production de lait, les taux butyreux et protéique et la composition en acides gras du lait de vache, chèvre et brebis évaluée par spectrométrie dans le moyen infrarouge. . 2014. pp. 14.
- LOUCA, A., 1972. The effect of suckling regime on growth rate and lactation performance of the Cyprus Fat-tailed and Chios sheep. *Animal Science*. août 1972. Vol. 15, n° 1, pp. 53-59. DOI 10.1017/S0003356100011211.
- MANN, S., NYDAM, D. V., LOCK, A. L., OVERTON, T. R. et MCART, J. a. A., 2016. Short communication: Association of milk fatty acids with early lactation hyperketonemia and elevated concentration of nonesterified fatty acids. *Journal of Dairy Science*. juillet 2016. Vol. 99, n° 7, pp. 5851-5857. DOI 10.3168/jds.2016-10920.
- MÄNTYSAARI, P., MÄNTYSAARI, E. A., KOKKONEN, T., MEHTIÖ, T., KAJAVA, S., GRELET, C., LIDAUER, P. et LIDAUER, M. H., 2019. Body and milk traits as indicators of dairy cow energy status in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 1 septembre 2019. Vol. 102, n° 9, pp. 7904-7916. DOI 10.3168/jds.2018-15792.
- MARTIN, B., FERLAY, Anne, HURTAUD, C., GRAULET, B., CORNU, A., LEFRILEUX, Y., LAGRIFFOUL, G. et SIBRA, C., 2014. *Les liens entre les conditions de production et les composés d'intérêt nutritionnel du lait* [en ligne]. CNAOL (Conseil National des Appellations d'Origine Laitière) - RMT « Filières fromagères valorisant leur terroir ». [Consulté le 23 août 2023]. Disponible à l'adresse : https://www.rmtfromagesdeterroirs.com/wp-content/uploads/2020/12/VOLCANOGRAPHICS_RMTFT_COMPOSES-INTERET-NUTRITIONNEL-complet_HD.pdf

MCKUSICK, B. C., THOMAS, D. L. et BERGER, Y. M., 2001. Effect of Weaning System on Commercial Milk Production and Lamb Growth of East Friesian Dairy Sheep. *Journal of Dairy Science*. 1 juillet 2001. Vol. 84, n° 7, pp. 1660-1668. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(01)74601-2.

OVERTON, T.R., MCART, J.A.A. et NYDAM, D.V., 2017. A 100-Year Review: Metabolic health indicators and management of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. décembre 2017. Vol. 100, n° 12, pp. 10398-10417. DOI 10.3168/jds.2017-13054.

PANOUSIS, N., BROZOS, Ch, KARAGIANNIS, I., GIADINIS, N. D., LAFI, S. et KRITSEPI-KONSTANTINOOU, M., 2012. Evaluation of Precision Xceed® meter for on-site monitoring of blood β -hydroxybutyric acid and glucose concentrations in dairy sheep. *Research in Veterinary Science*. août 2012. Vol. 93, n° 1, pp. 435-439. DOI 10.1016/j.rvsc.2011.06.019.

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.

PHILIPPE, P, 2014. Nefa Test™ : un nouveau lecteur portable pour doser les acides gras non estérifiés en élevage. *Journées Nationales GTV*. 2014.

PICHLER, M., DAMBERGER, A., SCHWENDENWEIN, I., GASTEINER, J., DRILLICH, M. et IWERSEN, M., 2014. Thresholds of whole-blood β -hydroxybutyrate and glucose concentrations measured with an electronic hand-held device to identify ovine hyperketonemia. *Journal of Dairy Science*. mars 2014. Vol. 97, n° 3, pp. 1388-1399. DOI 10.3168/jds.2013-7169.

QUIROZ-ROCHA, G.F., LEBLANC, S.J., DUFFIELD, T.F., JEFFERSON, B., WOOD, D., LESLIE, K.E. et JACOBS, R.M., 2010. Short communication: Effect of sampling time relative to the first daily feeding on interpretation of serum fatty acid and β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. mai 2010. Vol. 93, n° 5, pp. 2030-2033. DOI 10.3168/jds.2009-2141.

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*. septembre 2008. Vol. 79, n° 1, pp. 57-72. DOI 10.1016/j.smallrumres.2008.07.009.

RICORDEAU, G., DENAMUR, R. et PETREQUIN, P., 1962. Production laitière des brebis Préalpes du Sud pendant les phases d'allaitement, de sevrage et de traite. *Annales de zootechnie*. 1962. Vol. 11, n° 1, pp. 5-38.

RODRÍGUEZ-BERMÚDEZ, R., FOUZ, R., RICO, M., CAMINO, F., SOUZA, T. K., MIRANDA, M. et DIÉGUEZ, F. J., 2023. Factors Affecting Fatty Acid Composition of Holstein Cow's Milk. *Animals*. 6 février 2023. Vol. 13, n° 4, pp. 574. DOI 10.3390/ani13040574.

SÁNCHEZ, J.P., SAN PRIMITIVO, F., BARBOSA, E., VARONA, L. et DE LA FUENTE, L.F., 2010. Genetic determination of fatty acid composition in Spanish Churra sheep milk. *Journal of Dairy Science*. janvier 2010. Vol. 93, n° 1, pp. 330-339. DOI 10.3168/jds.2009-2268.

SEELY, C. R., BACH, K. D., BARBANO, D. M. et MCART, J. a. A., 2021. Effect of hyperketonemia on the diurnal patterns of energy-related blood metabolites in early-lactation

dairy cows. *Journal of Dairy Science*. janvier 2021. Vol. 104, n° 1, pp. 818-825. DOI 10.3168/jds.2020-18930.

SEELY, C. R., BACH, K. D., BARBANO, D. M. et MCART, J. A. A., 2022. Diurnal variation of milk fatty acids in early-lactation Holstein cows with and without hyperketonemia. *animal*. 1 juin 2022. Vol. 16, n° 6, pp. 100552. DOI 10.1016/j.animal.2022.100552.

TATONE, E. H., GORDON, J. L., HUBBS, J., LEBLANC, S. J., DEVRIES, T. J. et DUFFIELD, T. F., 2016. A systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of point-of-care tests for the detection of hyperketonemia in dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*. 1 août 2016. Vol. 130, pp. 18-32. DOI 10.1016/j.prevetmed.2016.06.002.

THOMPSON, J et MEYER, H, 1994. Body condition scoring of sheep. . 1994. pp. 4.

VENJAKOB, P.L., BRETZINGER, L.F., BORCHARDT, S., WEBER, C. et HEUWIESER, W., 2023. Evaluation of the diagnostic accuracy of a point-of-care device to measure concentrations of nonesterified fatty acids in serum and whole blood. *JDS Communications*. mai 2023. Vol. 4, n° 3, pp. 219-224. DOI 10.3168/jdsc.2022-0269.

WENDORFF, W.L. et HAENLEIN, G. F. W., 2017. Sheep Milk – Composition and Nutrition. In : *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals* [en ligne]. 1. Wiley. pp. 210-221. [Consulté le 23 août 2023]. ISBN 978-1-119-11027-9. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119110316.ch3.2>

ANNEXE I : SYNTHÈSE DES RESULTATS DES MODELES DE REGRESSION LINEAIRE : DEFINITION DU MEILLEUR MODELE PAR COMPARAISON DES AIC ET SIGNIFICATIVITE DE L'EFFET DE LA VARIATION DE NOTE D'ETAT CORPOREL

Dans les tableaux présentés ci-dessous, apparaissent de couleur orange les variables réponses pour lesquelles l'effet de la variation de NEC est significatif dans le modèle ayant l'AIC la plus faible (meilleur modèle). Les variables réponses de couleur rouge correspondent aux variables pour lesquelles l'effet de la variation de NEC est significatif dans au moins un modèle mais non significatif dans le modèle ayant l'AIC la plus faible (meilleur modèle).

Effet du $\Delta NEC_{1 \rightarrow 2} = NEC_2 - NEC_1$

- **Métabolites sanguins mesurés en allaitement-traite :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta NEC_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + RANG_{ij} + PORTEE_{ij} + JEL_sang_{ij} + DEMI-JOURNEE_sang_{ij} + (1 | ELEVAGE_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta NEC_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + RANG_{ij} + PORTEE_{ij} + JEL_sang_{ij} + (1 | ELEVAGE_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta NEC_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + RANG_{ij} + PORTEE_{ij} + JEL_sang_{ij} + DEMI-JOURNEE_sang_{ij} + (1 | ELEVAGE_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod4 : $X_{ij} \sim \Delta NEC_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + RANG_{ij} + PORTEE_{ij} + JEL_sang_{ij} + (1 | ELEVAGE_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_2)		Catégorielle (Del:1_2_f)		Meilleur modèle
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
BHB (mmol/L)	<i>AIC</i>	1036,9	1035,2	1041,7	1040	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	**	*			
AGNE (mmol/L)	<i>AIC</i>	1321,6	1324,1	1326,2	1328,8	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>	***	***	*	**	

Bassin PA		Continue (Del:1_2)		Catégorielle (Del:1_2_f)		Meilleur modèle
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
BHB (mmol/L)	<i>AIC</i>	405,9	411,0	407,5	412,6	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>					
AGNE (mmol/L)	<i>AIC</i>	585,7	590,1	585,7	589,0	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>					

- **Production laitière :**

$$\text{Mod1} : X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{Mod2} : X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_2) Mod1	Catégorielle (Del:1_2_f) Mod2	Meilleur modèle
LAIR50 (%)	<i>AIC</i>	3549,7	3554,1	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	**	*	
LAIR160 (%)	<i>AIC</i>	3687,8	3692,3	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>			

$$\text{Mod1} : X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{Mod2} : X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$$

Bassin PA		Continue (Del:1_2) Mod1	Catégorielle (Del:1_2_f) Mod2	Meilleur modèle
LAIR50 (%)	<i>AIC</i>	1006,8	1001,8	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>	*	***	
LAIR160 (%)	<i>AIC</i>	1046,3	1044,5	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>	*	*	

- Composition du lait mesurée en allaitement-traite :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_{ij}) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod4 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_2)		Catégorielle (Del:1_2_f)		Meilleur modèle
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
MG (g/L)	<i>AIC</i>	2221,2	2223,0	2220,6	2222,5	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>					
MP (g/L)	<i>AIC</i>	1507,8	1510,7	1513,2	1516,0	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>	**	**		*	
AG_TOT (%)	<i>AIC</i>	2193,3	2195,1	2192,7	2194,6	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C10:0 (%)	<i>AIC</i>	703,9	702,5	707,3	705,9	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	
C12:0 (%)	<i>AIC</i>	779,6	778,2	783,7	782,3	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	
C14:0 (%)	<i>AIC</i>	1613,0	1611,4	1610,1	1608,6	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					
C16:0 (%)	<i>AIC</i>	1517,8	1517,2	1516,2	1515,1	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					
C18:0 (%)	<i>AIC</i>	840,7	839,7	843,5	842,6	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	
C18:1 (%)	<i>AIC</i>	1431,8	1429,8	1434,6	1432,6	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	
C18:3n3 (%)	<i>AIC</i>	489,4	490,7	491,8	493,2	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C4:0 (%)	<i>AIC</i>	872,5	871,1	874,1	873,0	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>					
C6:0 (%)	<i>AIC</i>	388,7	390,0	392,6	393,8	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>		*			
C8:0 (%)	<i>AIC</i>	88,8	87,8	92,1	91,0	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	

MONOUNFA (%)	<i>AIC</i>	1477,7	1476,1	1481,0	1479,4	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	***	***	
POLYUNFA (%)	<i>AIC</i>	614,7	615,7	611,0	611,5	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			*	*	
SATFA (%)	<i>AIC</i>	1712,4	1710,6	1714,8	1713,0	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	**	***	
TOTALUNFA (%)	<i>AIC</i>	1712,0	1710,2	1714,3	1712,6	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	**	***	
ratio_c18:1_c14:0	<i>AIC</i>	643,9	642,0	638,2	636,3	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>	*	**	***	***	
ratio_c18:1_sum_pair_4:12	<i>AIC</i>	530,0	528,4	535,8	534,3	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>	***	***	**	**	
ratio_MG_MP	<i>AIC</i>	157,0	159,6	158,2	160,9	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>		*		*	

		Continue (Del:1_2)		Catégorielle (Del:1_2_f)		Continue (Del:1_2)
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
MG (g/L)	<i>AIC</i>	1004,2	1002,5	1003,5	1001,8	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					
MP (g/L)	<i>AIC</i>	880,1	880,8	876,4	878,3	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*	**	**	
AG_TOT (%)	<i>AIC</i>	992,5	990,9	991,8	990,1	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					
C10:0 (%)	<i>AIC</i>	243,2	241,3	246,2	244,2	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>					
C12:0 (%)	<i>AIC</i>	365,9	364,0	364,5	362,8	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					
C14:0 (%)	<i>AIC</i>	733,2	735,4	729,8	733,1	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>	*		**	*	
C16:0 (%)	<i>AIC</i>	728,4	730,9	728,9	732,0	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>	**	*	*	*	
C18:0 (%)	<i>AIC</i>	416,3	416,9	417,5	417,6	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C18:1 (%)	<i>AIC</i>	638,4	636,9	641,0	639,6	Del:1_2_Sans

	<i>p_value</i>					
C18:1c9 (%)	<i>AIC</i>	620,2	623,3	618,3	622,3	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			*	*	
C18:3n3 (%)	<i>AIC</i>	478,9	480,7	476,2	479,0	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			*		
C4:0 (%)	<i>AIC</i>	155,5	155,1	145,5	144,6	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>			**	***	
C6:0 (%)	<i>AIC</i>	61,0	60,8	59,3	59,6	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C8:0 (%)	<i>AIC</i>	-10,3	-6,2	-11,5	-6,9	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			*		
MONOUNFA (%)	<i>AIC</i>	663,2	661,4	665,9	664,2	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>					
POLYUNFA (%)	<i>AIC</i>	602,2	609,5	599,2	607,2	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*	**	*	
SATEFA (%)	<i>AIC</i>	832,6	833,2	831,9	833,1	Del:1_2_f_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*	*	*	
TOTALUNFA (%)	<i>AIC</i>	797,8	798,6	798,1	799,6	Del:1_2_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*	*		
ratio_c18:1_c14:0	<i>AIC</i>	251,0	250,8	254,0	253,3	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>					
ratio_c18:1_sum_pair_4:12	<i>AIC</i>	170,2	168,2	173,7	171,7	Del:1_2_Sans
	<i>p_value</i>					
ratio_MG_MP	<i>AIC</i>	146,7	144,8	145,2	143,4	Del:1_2_f_Sans
	<i>p_value</i>					

Effet du $\Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3} = \text{NEC}_3 - \text{NEC}_2$

- **Métabolites sanguins mesurés au premier contrôle laitier :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod4 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del_2_3)		Catégorielle (Del_2_3_f)		Meilleur modèle
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
BHB (mmol/L)	<i>AIC</i>	1222,9	1240,1	1223,9	1241,2	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
AGNE (mmol/L)	<i>AIC</i>	1528,7	1527,0	1528,8	1527,4	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>					

- **Production laitière :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \varepsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{2 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \varepsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del_2_3)		Catégorielle (Del_2_3_f)		Meilleur modèle
		Mod1		Mod2		
LAIR50 (%)	<i>AIC</i>	N.C.	3530,5	N.C.	3533,6	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>					
LAIR160 (%)	<i>AIC</i>	N.C.	3657,1	N.C.	3659,9	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>					

- **Composition du lait mesurée au premier contrôle laitier :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod4 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 2_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Del_2_3		Del_2_3_f		Meilleur modèle
		DJOUR	Sans	DJOUR	Sans	
		Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	
MG (mmol/L)	<i>AIC</i>	1338,8	1337,1	1341,3	1339,6	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>	**	**	*	*	
MP (mmol/L)	<i>AIC</i>	1011,2	1018,2	1012,9	1020,2	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
AG_TOT (%)	<i>AIC</i>	1321,4	1319,8	1324,0	1322,3	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>	**	**	*	*	
C10:0 (%)	<i>AIC</i>	281,5	291,7	284,0	293,9	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C12:0 (%)	<i>AIC</i>	334,3	345,1	337,8	348,5	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C14:0 (%)	<i>AIC</i>	923,1	929,0	926,0	931,8	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C16:0 (%)	<i>AIC</i>	836,9	836,1	837,1	835,9	Del_2_3_f_Sans
	<i>p_value</i>					
C18:0 (%)	<i>AIC</i>	459,3	469,7	460,0	470,7	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C18:1 (%)	<i>AIC</i>	763,4	773,2	766,2	776,3	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C18:3n3 (%)	<i>AIC</i>	272,8	276,5	271,9	274,8	Del_2_3_f_DJOUR
	<i>p_value</i>				*	
C4:0 (%)	<i>AIC</i>	79,7	87,4	83,4	91,1	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C6:0 (%)	<i>AIC</i>	-65,6	-58,4	-62,8	-55,9	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*			
C8:0 (%)	<i>AIC</i>	-120,8	-112,4	-117,5	-109,3	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
MONOUNFA (%)	<i>AIC</i>	761,1	770,4	763,4	773,0	Del_2_3_DJOUR

	<i>p_value</i>					
POLYUNFA (%)	<i>AIC</i>	275,0	273,3	275,2	273,8	Del_2_3_Sans
	<i>p_value</i>					
SATFA (%)	<i>AIC</i>	828,8	835,1	832,3	838,7	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
TOTALUNFA (%)	<i>AIC</i>	827,9	834,3	831,5	837,9	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
ratio_c18:1_c14:0	<i>AIC</i>	208,2	213,5	209,8	215,2	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
ratio_c18:1_sum_pair_4:12	<i>AIC</i>	716,2	725,8	719,6	729,2	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
ratio_MG_MP	<i>AIC</i>	18,7	23,3	21,9	26,4	Del_2_3_DJOUR
	<i>p_value</i>		*			

Effet du $\Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3} = \text{NEC}_3 - \text{NEC}_1$

- **Métabolites sanguins mesurés au premier contrôle laitier :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Mod4 : $X_i \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_sang}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \epsilon_i + \epsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_3)		Catégorielle (Del:1_3_f)		Meilleur modèle
		DJOUR Mod1	Sans Mod2	DJOUR Mod3	Sans Mod4	
BHB (mmol/L)	<i>AIC</i>	1219,4	1236,4	1222,4	1239,8	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
AGNE (mmol/L)	<i>AIC</i>	1522,3	1520,5	1526,8	1524,9	Del:1_3_Sans
	<i>p_value</i>					

- **Production laitière :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_contij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \epsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_catij} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \epsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_3)	Catégorielle (Del:1_3_f)	Meilleur modèle
		Mod1	Mod2	
LAIR50 (%)	<i>AIC</i>	3532,6	3532,3	Del:1_3_f_Sans
	<i>p_value</i>		*	
LAIR160 (%)	<i>AIC</i>	3659,5	3661,7	Del:1_3_Sans
	<i>p_value</i>			

- **Composition du lait mesurée au premier contrôle laitier :**

Mod1 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod2 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_cont_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod3 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + \text{DEMI-JOURNEE_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Mod4 : $X_{ij} \sim \Delta \text{NEC}_{1 \rightarrow 3_cat_{ij}} + \text{RANG}_{ij} + \text{PORTEE}_{ij} + \text{JEL_lait}_{ij} + (1 | \text{ELEVAGE}_i) + \varepsilon_i + \varepsilon_{ij}$

Bassin Roquefort		Continue (Del:1_3)		Catégorielle (Del:1_3_f)		Meilleur modèle
		DJOUR	Sans	DJOUR	Sans	
		Mod1	Mod2	Mod3	Mod4	
MG (g/L)	<i>AIC</i>	1344,0	1343,6	1346,0	1344,9	Del:1_3_Sans
	<i>p_value</i>					
MP (g/L)	<i>AIC</i>	1012,9	1018,9	1015,9	1022,2	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
AG_TOT (%)	<i>AIC</i>	1326,7	1326,3	1328,6	1327,6	Del:1_3_Sans
	<i>p_value</i>					
C10:0 (%)	<i>AIC</i>	281,6	292,0	285,8	296,2	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C12:0 (%)	<i>AIC</i>	332,1	343,4	336,7	347,9	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	*				
C14:0 (%)	<i>AIC</i>	922,1	928,6	910,3	917,0	Del:1_3_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			***	***	
C16:0 (%)	<i>AIC</i>	834,5	832,9	838,8	837,0	Del:1_3_Sans
	<i>p_value</i>		*			
C18:0 (%)	<i>AIC</i>	453,3	464,3	459,0	470,3	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*			
C18:1 (%)	<i>AIC</i>	750,9	761,1	755,3	766,3	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	***	***	**	**	
C18:3n3 (%)	<i>AIC</i>	274,2	276,8	265,2	266,9	Del:1_3_f_DJOUR
	<i>p_value</i>			**	***	
C4:0 (%)	<i>AIC</i>	81,2	89,1	83,0	91,1	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					
C6:0 (%)	<i>AIC</i>	-65,4	-58,4	-59,5	-52,2	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	*	*			
C8:0 (%)	<i>AIC</i>	-122,6	-114,0	-117,0	-107,9	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					

MONOUNFA (%)	<i>AIC</i>	749,9	759,6	754,3	764,8	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	***	***	**	**	
POLYUNFA (%)	<i>AIC</i>	267,5	268,3	268,5	270,5	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	**	**	**	*	
SATFA (%)	<i>AIC</i>	822,9	828,8	824,8	831,4	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	**	**	**	**	
TOTALUNFA (%)	<i>AIC</i>	822,2	828,0	824,0	830,6	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	**	**	**	**	
ratio_c18:1_c14:0	<i>AIC</i>	204,2	210,6	207,0	213,8	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	*				
ratio_c18:1_sum_pair_4:12	<i>AIC</i>	707,7	717,5	713,5	723,7	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>	***	**	*	*	
ratio_MG_MP	<i>AIC</i>	20,5	26,4	22,7	28,3	Del:1_3_DJOUR
	<i>p_value</i>					

TITRE : Relations entre l'évolution de l'état corporel chez les brebis laitières en début de lactation et les concentrations sanguines en bêta-hydroxybutyrate et en acide gras non estérifiés et la composition du lait : étude préliminaire dans le rayon de Roquefort et les Pyrénées-Atlantiques.

RESUME : En France, l'élevage ovin laitier est caractérisé par la pratique de l'allaitement-traite pendant le premier mois de lactation au cours duquel le pic de production est atteint. Véritable « boîte noire », cette période est rarement étudiée et par conséquent les indicateurs relatifs à la conduite d'élevage peu nombreux. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'intérêt de l'utilisation du dosage des BHB et AGNE sanguins ainsi que de la composition fine du lait pour la caractérisation du bilan énergétique des brebis laitières, afin de permettre une conduite plus efficiente du troupeau. Cette étude s'est attachée (i) à évaluer la fiabilité de dispositifs de dosage rapide des BHB et AGNE ; (ii) à décrire les cinétiques journalières des BHB et AGNE sanguins à l'échelle individuelle et d'un lot de brebis ; (iii) à étudier les relations entre l'évolution des notes d'état corporel en début de lactation et les indicateurs métaboliques sanguins ou les éléments de production et de composition du lait.

MOTS CLES : brebis laitière, métabolisme, déficit énergétique, allaitement-traite, bêta-hydroxybutyrate (BHB), acides gras non-estérifiés (AGNE), acides gras du lait

TITLE : Relationship between the evolution of body condition in early lactation dairy ewes and blood concentrations of beta-hydroxybutyrate and non-esterified fatty acids and milk composition: a preliminary study in the Roquefort and Pyrénées-Atlantiques areas.

SUMMARY : In France, dairy sheep farming is characterized by the practice of suckling/milking in the first month of lactation, when the production peak is reached. This period is barely studied, and indicators related to herd management are consequently scarce. The aim of this study was to assess the use of blood BHB and NEFA concentrations, as well as fine milk composition, to characterize the energy balance of dairy ewes, in order to enable more efficient herd management. This study aimed to (i) assess the reliability of rapid BHB and NEFA measurement devices; (ii) describe the daily kinetics of blood BHB and NEFA at both individual and flock levels; (iii) study the relationship between body condition score changes in early of lactation and blood metabolic indicators or milk production and composition.

KEYWORDS : dairy ewe, metabolism, negative energy balance, milking-suckling period, beta-hydroxybutyrate (BHB), non-esterified fatty acids (NEFA), milk fatty acids
