





OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25624

To cite this version:

Terral, Hélène  and Laurent, Alexandre . *Impact du déficit énergétique sur les performances de reproduction de troupeaux allaitants suivis dans le cadre d'une clientèle vétérinaire*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2019, 88 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

IMPACT DU DÉFICIT ÉNERGÉTIQUE SUR LES PERFORMANCES DE REPRODUCTION DE TROUPEAUX ALLAITANTS SUIVIS DANS LE CADRE D'UNE CLIENTELE VÉTÉRINAIRE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

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

par

Hélène TERRAL et Alexandre LAURENT

Née, le 02 mai 1993 à Albi (81) et Né, le 13 novembre 1993 à Vénissieux (69)

Directeur de thèse : Mme Nicole HAGEN

JURY

PRESIDENT :

Mr Jean PARINAUD

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mme Nicole HAGEN

Mr Fabien CORBIERE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITÉS :

Mr Gilles DE CRÉMOUX

Mr Thibaut CAUDERLIER

Docteur Vétérinaire

CEVA

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur par Intérim : **Monsieur Frédéric BOUSQUET**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
- 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. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*

- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- 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. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

MAITRES DE CONFERENCES CONTRACTUELS

- Mme **BORDE DORE Laura**, *Médecine interne des équidés*
- M. **GIANSETTO Thomas**, *Chirurgie*
- M. **JOLIVET Franck**, *Médecine interne*
- Mme **LECRU Line**, *Dermatologie*
- M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
- Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Jean PARINAUD

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

Médecine de la reproduction

Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,
Hommages respectueux.

A Madame la Professeure Nicole HAGEN-PICARD

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Pathologie de la reproduction

Pour votre encadrement, votre aide précieuse, et votre gentillesse,
nous tenons à vous remercier chaleureusement
et à vous exprimer notre profond respect.

A Monsieur le Docteur Fabien CORBIERE

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie des Ruminants

Pour toute l'aide, la disponibilité et la patience apportées
pendant la réalisation de ce travail,
Remerciements les plus sincères.

A Monsieur le Docteur Gilles DE CREMOUX

Docteur vétérinaire

Pour nous avoir confié ce travail
et nous avoir guidés dans son élaboration.
Sincère reconnaissance.

A Monsieur Thibaut CAUDERLIER

CEVA Santé animale

Pour prendre part au jury de cette thèse
et avoir permis la réalisation de ce travail,
Sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES FIGURES	8
TABLE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES ABREVIATIONS.....	11
INTRODUCTION.....	12
PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE : DEFICIT ENERGETIQUE OU AZOTE EN ELEVAGE ALLAITANT.....	13
1. Alimentation de la vache allaitante : besoins et apports recommandés.....	13
a. Besoin d'entretien.....	13
b. Besoins de production	14
c. La capacité d'ingestion.....	15
2. Origine du déficit énergétique	16
3. Evaluation du déficit énergétique.....	17
a. Note d'état corporel.....	17
b. Les marqueurs biochimiques sanguins.....	19
L'urée.....	19
Les AGNE	20
Les BOH.....	22
4. Evaluation des performances de reproduction	24
5. Conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction et de production .	25
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE : DEFICIT ENERGETIQUE ET CONSEQUENCES SUR LA REPRODUCTION DES VACHES ALLAITANTES DANS LE BASSIN DU SEGALA	31
1. Matériels et méthodes.....	31
a. Les animaux	31
b. Suivi de reproduction	39
c. Dosages des marqueurs métaboliques	41
d. Protocole expérimental.....	43
e. Collecte des données	43
f. Analyse des données	47
Définition des paramètres de reproduction.....	47
Analyse statistique des données	47
2. Résultats	48
a. Description des indicateurs métaboliques	48
Profils de NEC.....	48
Profils des concentrations sanguines de β -hydroxybutyrate au cours du pré- et postpartum	51
Profils des concentrations d'AGNE autour du vêlage.....	52
Profils des concentrations d'urée postpartum.....	54
b. Description des performances de reproduction de la population de femelles allaitantes	56
La reprise de cyclicité (IVCy)	56

Paramètres de fécondité.....	57
Analyse des paramètres de reproduction en fonction des profils temporels de NEC.....	60
Relation entre les marqueurs métaboliques biochimiques et les paramètres de reproduction...	63
c. Relation entre les profils de NEC et les indicateurs métaboliques biochimiques	66
BOH	66
AGNE.....	67
Urée	68
d. Synthèse de la relation entre les différents marqueurs métaboliques et les paramètres de reproduction.....	70
3. Discussion	73
Qualité des données.....	73
Influence du déficit énergétique sur les performances de reproduction	76
Influence de l'excès d'azote soluble sur les performances de reproduction	78
Intérêts des marqueurs métaboliques dans le suivi de reproduction.....	79
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	81
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	83
RESUME.....	89

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Besoin énergétique de la vache allaitante présentant un état corporel correct en fin de gestation ou pour une production laitière moyenne en début de lactation, en fonction des mois après vêlage. Exemple pour une Charolaise de 750kg donnant naissance à un veau de 48kg et produisant 8,5kg de lait au maximum. (Meynadier, 2018).	13
Figure 2: Besoin en énergie (UFL/j) pour une vache en fin de gestation en fonction du poids du fœtus (Agabriel, 2010).	14
Figure 3: Effet du niveau d'énergie disponible pour la production laitière (haut vs. bas) sur le lait bu (moyenne de 16 lots appariés de vaches charolaises allaitant leurs veaux) (Sepchat et al., 2017).	15
Figure 4 : Courbe de la capacité d'ingestion de la vache allaitante autour du vêlage (Agabriel, 2010).	15
Figure 5 : Cours moyens des gros bovins finis, mesurés par l'indicateur national des prix moyens pondérés des gros bovins entrée abattoir sur l'année 2016 et 2017 (Agreste, 2017).	16
Figure 6 : Métabolisme de l'azote chez les ruminants (Kohn, 2007).	19
Figure 7 : Lipomobilisation peripartum chez la vache laitière (Chilliard, 1987) : évolution de la lipolyse in vitro (en équivalent molaire d'Acides Gras Libres, nEq AGL) et des AGNE plasmatiques (en mM = mmol/L) et de la réponse à l'adrénaline en fonction des jours autour de la mise bas.	21
Figure 8 : Adaptation métaboliques et hormonales à la sous-alimentation chez les ruminants (Blanc et al., 2004 ; Chilliard et al., 1998). Lors d'une sous-alimentation, les réponses endocriniennes et métaboliques permettent une mobilisation séquentielle des réserves corporelles, une épargne des métabolites limitants (glucose et acides aminés), et une diminution du métabolisme de base et autres dépenses énergétiques.	22
Figure 9 : Carte géographique décrivant la zone de production du veau d'Indication Géographie Protégée (IGP) Ségala et Situation géographique des 21 élevages participant à l'étude.	31
Figure 10 : Répartition des 390 vaches incluses dans l'étude en fonction des 21 élevages.	32
Figure 11 : Répartition des 390 vaches incluses dans l'étude en fonction de leur race.	33
Figure 12 : Répartition mensuelle des 390 vêlages pour les vaches incluses dans l'étude.	33
Figure 13 : Répartition des 345 vaches dont le rang de vêlage est renseigné, en fonction de leur rang de vêlage.	34
Figure 14 : Répartition des 377 vaches dont l'âge est renseigné, incluses dans l'étude en fonction de leur âge au moment du vêlage n.	34
Figure 15 : Répartition des 390 vaches en fonction du mode de reproduction (IA, Monte naturelle ou mixte, IA et monte naturelle).	35
Figure 16 : Répartition des 1498 visites d'élevage en fonction de l'intervenant.	40
Figure 17 : Schéma temporel des événements de reproduction et des paramètres métaboliques évalués pour chaque vache incluse dans l'étude.	46
Figure 18 : Répartition des 376 vaches en fonction des NEC et du stade pré- ou postpartum.	48
Figure 19 : Analyse des profils de NEC obtenus au cours des 4 visites (21 à 7 j pré-partum, 7-20, 21-50 et 51-90 j postpartum) pour les 376 vaches.	50
Figure 20 : Répartition des 376 vaches en fonction de leurs concentrations sanguines en BOH pour chaque stade pré- ou postpartum. Le 9 ^{ième} décile, correspondant à la limite supérieure de BOH pour 90 % des femelles est représenté par le trait pointillé rouge.	51
Figure 21 : Répartition des 376 vaches en fonction de leurs concentrations sériques en AGNE en pré-partum et entre 7-20 j postpartum. Le 9 ^{ième} décile, correspondant à la limite supérieure d'AGNE pour 90 % des femelles est représenté par le trait pointillé rouge.	53
Figure 22 : Répartition des 373 vaches en fonction de leur concentration sérique d'urée pour la période entre 21-50 et 51-90 jours postpartum. Le 9 ^{ième} décile, correspondant à la limite supérieure des valeurs d'urée pour 90 % des femelles est représenté par la droite rouge.	55
Figure 23 : Répartition des 369 vaches primipares et multipares en fonction de l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité.	56
Figure 24 : Répartition des 360 vaches primipares et multipares en fonction de l'intervalle vêlage – insémination/saillie fécondante et du rang de vêlage.	57
Figure 25 : Répartition des 360 vaches en fonction de l'intervalle reprise cyclicité – insémination/saillie fécondante.	58

Figure 26 : Répartition des 316 vaches n'ayant pas avorté en fonction de l'intervalle vêlage – vêlage.	59
Figure 27 : Répartition des délais de reprise de cyclicité postpartum (IVCy) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	60
Figure 28 : Répartition des intervalles vêlage – insémination/saillie fécondante (IVIF) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, H profil en creux et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, I profil en creux et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	61
Figure 29 : Répartition des intervalles reprise cyclicité – insémination/saillie fécondante (ICyIF) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	62
Figure 30 : Répartition des valeurs de l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) sous forme de box plots en fonction de 4 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5 (n=9), J NEC stable globalement entre 2 et 2,5 (n=28), K NEC stable globalement entre 3 et 3,5 (n=273), L NEC stable globalement entre 4 et 4,5 (n=14).	63
Figure 31 : Répartition des valeurs de BOH lors de la 1ière visite (21 à 7 jours avant le vêlage) en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	66
Figure 32 : Répartition des concentrations sériques d'AGNE (mmol/L) des femelles 7 à 20 jours postpartum en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC1 entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	67
Figure 33 : Répartition des valeurs d'urémies des femelles entre 50 et 90 jours postpartum en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.	68

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Grille de notation de l'état corporel de la vache allaitante sur une échelle de 1 à 5 utilisé par les vétérinaire de la clinique et inspiré de l'échelle (INRA, 2015).	18
Tableau 2 : Valeurs moyennes et écart-types des mesures d'urée sériques des vaches allaitantes en fonction de la période de l'année, de l'âge et du stade physiologique (Doornenbal et al., 1988).	20
Tableau 3 : Synthèse de différentes études établissant un lien entre déficit énergétique/azoté et performance de reproduction/production des vaches allaitantes.	30
Tableau 4 : Caractéristiques (nombre d'animaux et conduite d'élevage) des 21 élevages inclus dans l'étude.	38
Tableau 5 : Analyse des délais réels des visites par rapport au vêlage, comparativement aux intervalles théoriques.	39
Tableau 6 : Critères de reproduction évalués lors des examens gynécologiques, entre 21 et 50 jours postpartum, entre 51 et 90 jours postpartum et lors du diagnostic de gestation.	41
Tableau 7 : Récapitulatif des paramètres métaboliques (AGNE, BOH, NEC, urée) et des examens gynécologiques évalués lors du suivi des animaux selon le stade par rapport au vêlage.	43
Tableau 8 : Tableau individuel distribué à l'éleveur pour le recueil des informations de la vache.	46
Tableau 9 : Définition de trois groupes de femelles en fonction de leur profil en BOH au cours de la période pré- ou postpartum et en prenant en compte des seuils indiquant un déficit énergétique chez les femelles allaitantes (Egal, 2013).	52
Tableau 10 : Définition de trois groupes de femelles en fonction des concentrations sériques en AGNE au cours de la période peripartum : AGNE1 et AGNE2 correspondent respectivement aux concentrations sériques d'AGNE mesurées 21 à 7 jours avant la mise bas ou 7 à 20 jours après la mise-bas.	53
Tableau 11 : Définition de quatre groupes de femelles en fonction de leur concentration en AGNE au cours de la période pré-partum (21 à 7 jours avant le vêlage) et postpartum (7 à 20 jours après le vêlage).	54
Tableau 12 : Définition de quatre groupes de femelles en fonction de leur urémie au cours de la période de 21 à 90 jours postpartum.	55
Tableau 13 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des groupes de valeurs de BOH	64
Tableau 14 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs de BOH, correspondant au 90 ^{ème} percentile à 7-21 j pré-partum.	64
Tableau 15 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs d'AGNE, correspondant au 90 ^{ème} percentile pour chaque groupe de femelles à deux stades peripartum : 7-21 j pré-partum, 7-20 j postpartum.	65
Tableau 16 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs d'urée, correspondant au 90 ^{ème} percentile pour les femelles à deux stades postpartum autour de la mise à la reproduction : 21-50 j postpartum et 51-90 jours postpartum.	65
Tableau 17 : Récapitulatif des effets des profils de NEC sur les paramètres de reproduction. Les différences en jours des médianes ou moyennes des paramètres de fécondité sont indiquées pour les groupes (n≥5), et p-values (* : 0,1<p<0,05 ; ** : p<0,05).	70
Tableau 18 : Récapitulatif des relations observées entre les différents marqueurs métaboliques (profils de NEC, BOH, AGNE et urée). Les variations en jours des moyennes des paramètres de fécondité sont indiquées pour les groupes (n≥5). Les différences des valeurs des indicateurs métaboliques sont indiquées et p-values (* : 0,1<p<0,05 ; ** : p<0,05).	72
Tableau 19 : Comparaison des intérêts et des limites de l'utilisation de ces marqueurs dans les conditions terrain.	80

LISTE DES ABREVIATIONS

AGNE : Acide Gras Non Estérifié
AMV : Aliment Minéral et Vitaminé
ARC : Agricultural Research Council
BOH : Béta-hydroxybutyrate
BVD : Bovine Diarrhea Disease
CI : Capacité d'Ingestion
EM : Energie Métabolique
FSH : Follicle Stimulating Hormone
IA : Insémination Artificielle
ICyIF : Intervalle reprise de Cyclicité ovarienne-Insémination Fécondante
IgG : Immunoglobuline G
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
IVCy : Intervalle Vêlage-reprise de Cyclicité ovarienne
IVIF : Intervalle Vêlage-Insémination Fécondante
IVO1 : Intervalle Vêlage-premier Œstrus
IVV : Intervalle Vêlage-Vêlage
j : jour
LH : Luteinizing Hormone
MN : Monte Naturelle
NEC : Note d'Etat Corporel
NRC : National Research Council
NS : Non Significatif
P : Poids
PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin
PDIN : Protéines Digestibles dans l'Intestin permise par l'azote (N)
UEB : Unité d'Encombrement Bovin
UFL : Unité Fourragère Lait
UTH : Unité de Travail Humain

INTRODUCTION

Le déficit énergétique des vaches pendant la période peripartum est une problématique bien connue en élevage laitier. En effet, un déficit énergétique important a des répercussions sur la production laitière ainsi que sur les performances de reproduction des vaches (Vries, Veerkamp, 2000), et par voie de conséquence, sur la rentabilité du troupeau (Veerkamp, 1998). Ainsi, les éleveurs laitiers sont généralement conscients de l'importance de la gestion de la couverture énergétique en début de lactation et de la préparation au vêlage (Friggens et al., 2004).

A contrario en élevage allaitant, l'amaigrissement des vaches autour du vêlage est généralement considéré comme normal, notamment pendant les périodes de restriction des ressources fourragères (Thériez et al., 1994). Cet amaigrissement est lié notamment au régime alimentaire hivernal qui dépend de la qualité et de la quantité des fourrages conservés. L'alimentation est un poste déterminant la rentabilité de l'exploitation (Lherm, Benoit, 2003). Les éleveurs sont d'une façon générale peu sensibilisés aux conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction des vaches et de production (nombre de veaux sevrés par vache mise à la reproduction).

Quand le statut infectieux de l'élevage est bien maîtrisé vis-à-vis des principales maladies à tropisme génital (BVD, Fièvre Q, Néosporose...), la productivité d'un troupeau allaitant repose en grande partie sur les performances de reproduction, qui sont largement déterminées par l'état d'engraissement de la vache. Des variations de cet état ont des conséquences directes sur la durée de l'anœstrus postpartum, l'intervalle vêlage-vêlage, le taux de gestation, la production laitière et donc le poids des veaux au sevrage (Fields, Sand, 1993).

L'évaluation de la note d'état corporel (NEC) au moment du vêlage et du pic de lactation, correspondant globalement à la mise à la reproduction, est un indicateur de la balance énergétique. En élevage laitier, d'autres marqueurs biochimiques sanguins comme la concentration de β -hydroxybutyrate (BOH), d'acides gras non-estérifiés (AGNE) ou d'urée peuvent être utilisés pour évaluer le métabolisme énergétique et azoté de la vache au cours de la période critique du peripartum.

Lors des suivis de reproduction en élevage allaitant, les vétérinaires peuvent observer des vaches avec une reprise d'activité ovarienne décalée, parfois associée à la croissance retardée de leur veau. Dans le cadre de ces suivis de reproduction, l'intégration d'indicateurs

métaboliques peut permettre, à l’instar de ce qui est réalisé dans les élevages laitiers, d’évaluer le déficit énergétique ou l’équilibre azoté pendant la période peripartum, de mettre en évidence ses conséquences sur les performances de reproduction des vaches (McArt et al., 2013), et ainsi, de sensibiliser les éleveurs à l’importance de la gestion de l’alimentation autour du vêlage.

Les objectifs de l’étude étaient : (1) d’évaluer l’intérêt pratique de l’évaluation de marqueurs du déficit énergétique et des apports azotés dans le cadre de suivis de reproduction et (2) d’évaluer les conséquences du déficit énergétique et d’un excès azoté autour du vêlage sur les paramètres de reproduction et de production des vaches allaitantes. Le déficit énergétique a été mesuré au travers de plusieurs indicateurs, tels que les NEC, les concentrations sanguines de BOH et d’AGNE. L’urée plasmatique a permis l’évaluation des apports azotés.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE : DEFICIT ENERGETIQUE OU AZOTE EN ELEVAGE ALLAITANT

1. Alimentation de la vache allaitante : besoins et apports recommandés

Le besoin total en énergie est la somme des besoins d’entretien et de production décrits ci-dessous (Figure 1).

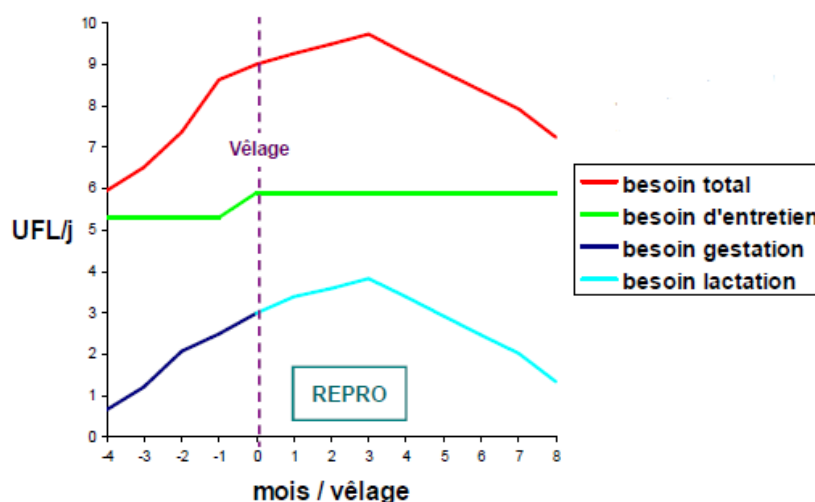


Figure 1 : Besoin énergétique de la vache allaitante présentant un état corporel correct en fin de gestation ou pour une production laitière moyenne en début de lactation, en fonction des mois après vêlage. Exemple pour une Charolaise de 750kg donnant naissance à un veau de 48kg et produisant 8,5kg de lait au maximum. (Meynadier, 2018).

a. Besoin d’entretien

Le besoin d’entretien correspond à l’énergie ingérée qui n’entraîne ni gain ni perte d’énergie corporelle. Chez la vache allaitante, il varie de 80 à 160 kcal EM/kg $P^{0,75}$ (poids métabolique) ou de 0,037 à 0,041 UFL/kg $P^{0,75}$, ce qui correspond aux deux tiers des besoins totaux (Agabriel, 2010).

Il existe plusieurs facteurs de variation : les conditions de milieu (climat, alimentation, activité physique), la composition corporelle (viscères, rapport tissus riches en protéines/adipeux), l'état physiologique (âge, stade de lactation, gestation, cf. Figure 1) et la variabilité interindividuelle, qui atteint 5 à 10%. Mais, c'est surtout le niveau d'alimentation qui peut entraîner de fortes variations des besoins d'entretien, allant même jusqu'à une diminution de 40% lors de restriction alimentaire importante (Ortigue, 1991). Par conséquent, la perte de poids attendue est plus faible que ce qu'il est possible de prévoir, autrement dit les recommandations ne correspondent pas aux besoins réels. La vache peut faire preuve d'adaptation aux conditions, notamment lors de restriction énergétique en régime hivernal. Cette adaptation se traduit par une réduction des besoins énergétiques d'entretien de 10 à 15% selon le niveau et la durée de sous-alimentation (Petit, Micol, 1981).

Le besoin azoté d'entretien est de 3,25 g PDI/kg P^{0,75}.

Sur le terrain, la comparaison des apports alimentaires de rations à base des fourrage par rapport aux recommandations alimentaires en élevage allaitant définies par l'INRA, mettent en évidence un dépassement de 20% des besoins énergétiques et un déficit d'apports azotés avec un taux de couverture des PDIN de 95 % (Veysset, 2007).

b. Besoins de production

Les besoins augmentent fortement au cours des trois derniers mois de gestation, jusqu'à +0,9 UFL/j/10 kg poids veau au neuvième mois (Figure 2), ce qui correspond à 0,56 UFL et 47 g de PDI (Agabriel, 2010). En cas de gémellité, les besoins sont encore plus importants (> 4% en Charolais).

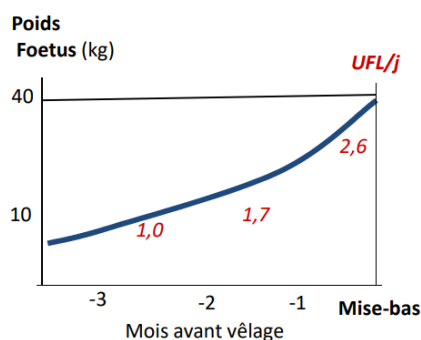


Figure 2: Besoin en énergie (UFL/j) pour une vache en fin de gestation en fonction du poids du fœtus (Agabriel, 2010).

Pour produire 1 kg de lait à 44 g de lipides et 34 g de protéines, les besoins sont de 0,44 UFL et 53 g de PDI. La production laitière et la croissance du veau sont étroitement liées. La production laitière est donc un facteur déterminant la productivité numérique en troupeau allaitant (Sepchat et al., 2017).

Toutefois, durant cette période de lactation, la vache peut supporter la sous-alimentation (Figure 3), en raison d'une certaine robustesse.

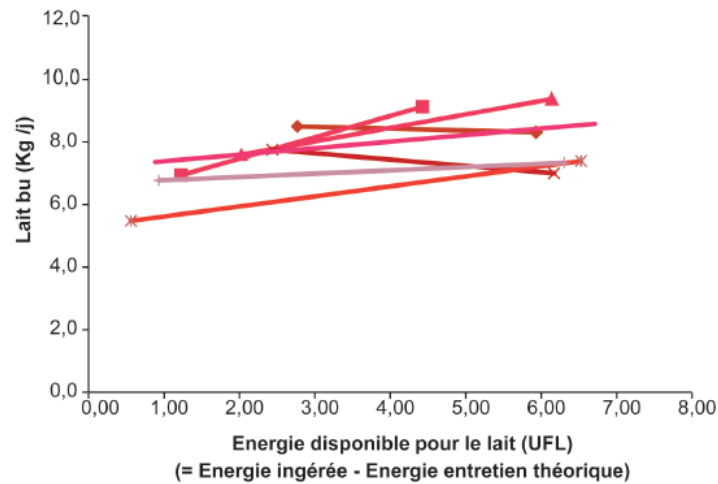


Figure 3: Effet du niveau d'énergie disponible pour la production laitière (haut vs. bas) sur le lait bu (moyenne de 16 lots appariés de vaches charolaises allaitant leurs veaux) (Sepchat et al., 2017).

Cela signifie que les femelles en lactation présentent une capacité d'adaptation à la restriction alimentaire sans altérer les fonctions de production, comme la lactation qui reste une fonction prioritaire dans l'homéorhèse de la vache. Ainsi, la perte d'une UFL n'entraîne qu'une baisse limitée, de 0,2 L de lait (Figure 3). Cette adaptation est possible en raison de l'aptitude des femelles allaitantes à mobiliser leurs réserves corporelles. Leurs besoins énergétiques sont donc modulés par les capacités adaptatives des animaux, mais dépendent également de la dynamique temporelle et du type de dépenses.

c. La capacité d'ingestion

La capacité d'ingestion correspond à la quantité de matière sèche volontairement ingérée lorsque l'alimentation est *ad libitum*. Elle dépend du poids de l'animal, de son âge (-15 à 20% pour les primipares), du stade physiologique (elle est diminuée en fin de gestation par le volume de l'utérus gravide, Figure 4), de la production laitière, de l'état d'engraissement, de la race (-10% chez la Blonde), des conditions d'élevage (compétition à l'auge) (Ingrand, 2003) et également de la qualité du fourrage.

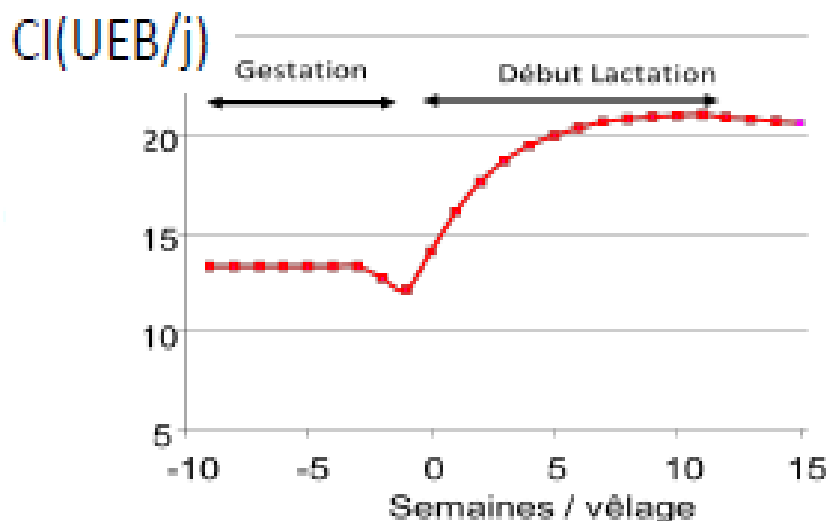


Figure 4 : Courbe de la capacité d'ingestion de la vache allaitante autour du vêlage (Agabriel, 2010).

Au pâturage, cette capacité d'ingestion dépend aussi de la disponibilité de l'herbe et de sa préhensibilité. En fin de gestation, une inadéquation entre les besoins et la capacité d'ingestion peut donc être observée.

2. Origine du déficit énergétique

Le déficit énergétique correspond à la différence entre l'énergie effectivement consommée et les besoins énergétiques. En élevage allaitant, il est rare que ce déficit soit lié à l'intensité du métabolisme (associé à la production laitière) ou à la diminution de la capacité d'ingestion (encombrement du fœtus). Son origine est souvent liée à une baisse d'ingestion d'aliment due à une maladie postpartum ou à une restriction alimentaire liée à la conduite d'élevage. En effet, l'éleveur peut être amené à sous alimenter temporairement ses vaches afin de diminuer la part de l'alimentation dans les charges liées à l'élevage. En effet, le revenu des éleveurs est déterminé par le cours des produits (prix de la viande des veaux) et le prix des intrants (prix de matières premières, concentrés et fourrages). Or dans le contexte économique actuel, le prix des matières premières est à la hausse (IDELE, 2017). Par ailleurs, en 2017, le cours des gros bovins finis est inférieur de 4,5% à la moyenne 2012-2016 (Figure 5), en raison d'une diminution de la consommation de la viande, qui est de 3,6% pour la viande de gros bovin en 2017 par rapport en 2016.

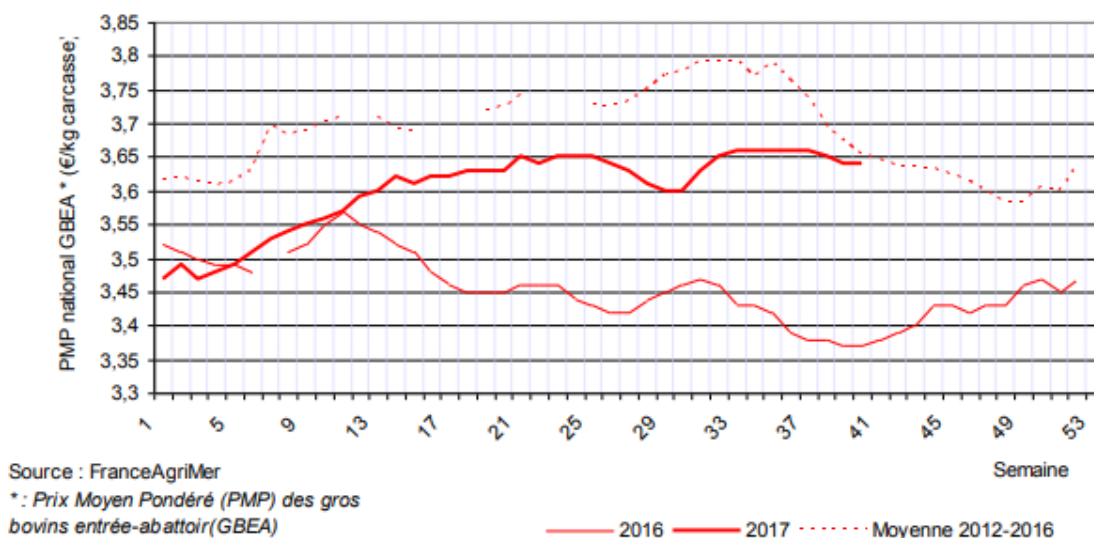


Figure 5 : Cours moyens des gros bovins finis, mesurés par l'indicateur national des prix moyens pondérés des gros bovins entrée abattoir sur l'année 2016 et 2017 (Agreste, 2017).

Dans ce contexte économique, pour optimiser le coût de production du kilo de viande, les éleveurs sont contraints de diminuer les coûts de la ration hivernale des vaches en limitant l'achat de fourrage, en substituant les concentrés par des sous-produits de l'industrie agroalimentaire, et en limitant la quantité de ration hivernale. Ces restrictions alimentaires peuvent conduire à des déséquilibres, notamment à un déficit énergétique. Les vaches utilisent donc leur capacité d'adaptation/de rusticité en puisant dans leurs réserves, ce qui se traduit par

une perte d'état corporel. Cette restriction alimentaire temporaire permet une économie significative pour l'exploitation : une perte de 1,5 points de NEC correspond à 250 à 300 UFL ou 250 kg d'orge ou encore 520 kg de foin (Petit, Agabriel, 1993). Les réserves corporelles sont ensuite reconstituées au moment de la mise à l'herbe. Ainsi, l'optimisation de l'autonomie alimentaire repose sur des phénomènes de rebond avec des mécanismes compensateurs permettant la reconstitution des réserves. Cette marge de manœuvre entre sous-alimentation temporaire et réalimentation est limitée de façon à préserver le niveau de production et la fonction de reproduction des vaches (Blanc et al., 2004).

3. Evaluation du déficit énergétique

a. Note d'état corporel

La sous-alimentation entraîne une baisse du poids vif et une modification des réserves corporelles. Il est difficile d'estimer à partir du poids vif, les réserves corporelles, qui correspondent au tissu adipeux et musculaire. En effet, la variation du poids vif intègre également des variations de poids des viscères comme le tractus digestif (qui représente une perte de 6% du poids vif à la mise à l'herbe) et du contenu de l'utérus gravide (dont le poids représente 1,4-1,7 fois le poids du fœtus).

En revanche, la NEC est un bon indicateur de la variation de réserves corporelles de graisse et de muscle. Les dépôts adipeux sous-cutanés représentent une faible partie des dépôts adipeux totaux (41% pour les dépôts adipeux intermusculaires, 36% pour les dépôts internes et 23% pour les dépôts sous-cutanés). Mais ce sont les dépôts sous-cutanés qui présentent des variations relatives les plus élevées (facteur de 7,0 pour les dépôts sous-cutanés, de 4,3 pour les dépôts internes, de 2,7 pour les dépôts intermusculaires) (Petit, Agabriel, 1993). De plus, ils sont faciles à estimer car ils sont visibles, accessibles et leur évaluation ne nécessite pas de contention spécifique.

La grille utilisée pour les vaches allaitantes (INRA 2015) attribue une note comprise entre 1 (très maigre) et 5 (très grasse) à 0,5 point près. Elle repose sur l'évaluation visuelle de la couverture graisseuse sur 4 zones (Tableau 1).

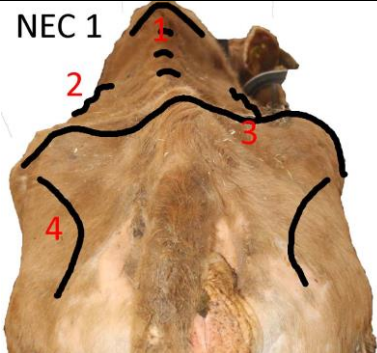
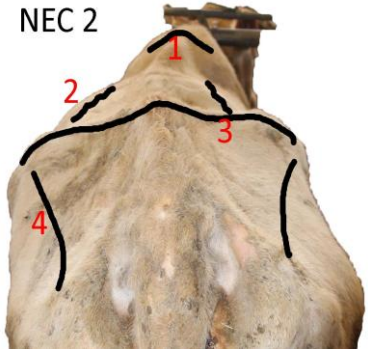
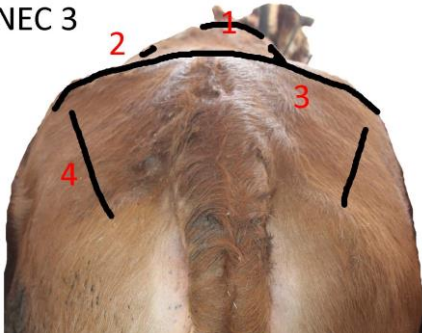
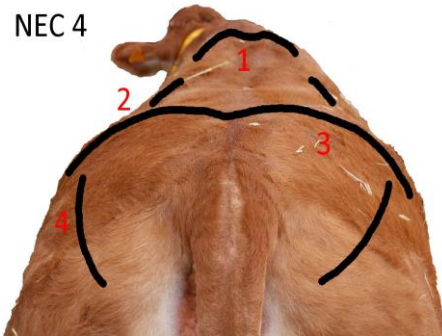
Photo	Ligne du dos (1)	Processus transverses des vertèbres (2)	Pointes des hanches (3)	Croupe (4)
<p>NEC 1</p> 	Pointue et processus épineux visible et facilement discernables	Visibles et facilement discernables	Saillantes	Pointe au niveau du dos (3) et creux entre la pointe de l'ischium et de l'ilium
<p>NEC 2</p> 	Pointue et processus épineux visibles	Visibles	Visibles et pointe peu marquée au niveau du dos	Léger creux entre la pointe de l'ischium et la pointe de l'ilium
<p>NEC 3</p> 	Dos plat, processus épineux non visibles	Non visibles	Non visibles, ligne droite entre les deux pointes des hanches	Pas de creux entre les pointes de l'ilium et de l'ischium
<p>NEC 4</p> 	Muscles saillant de part et d'autre de la ligne du dos donnant un aspect creusé à la ligne du dos	Non visibles, muscles développés	Non visibles, épaisses couches de muscles, ligne creusée entre les pointes de hanches	Dos creusé au niveau de la croupe et ligne convexe entre les pointes de l'ilium et de l'ischium

Tableau 1 : Grille de notation de l'état corporel de la vache allaitante sur une échelle de 1 à 5 utilisé par les vétérinaire de la clinique et inspiré de l'échelle (INRA, 2015).

La méthode de notation est répétable (82 %) et reproductible (79 %) (Agabriel et al., 1986), la part de variation liée au notateur est faible (Nicoll, 1981 ; Evans, 1978). Et la notation est d'autant plus fiable que l'opérateur est bien formé et expérimenté, ou accompagné d'autres notateurs indépendants (avec un optimum de 3 personnes).

D'autres techniques ont été décrites pour la mesure du niveau d'engraissement comme l'échographie. Elle permet de réduire la part de subjectivité du notateur, mais est beaucoup plus contraignante (Maniaval, 2003). La méthode de référence est la mesure de la taille des adipocytes après biopsie, qui est très invasive (Dumont et al., 1991).

b. Les marqueurs biochimiques sanguins

Les marqueurs métaboliques sont des indicateurs intégrés qui permettent d'évaluer les apports alimentaires d'une vache à un moment donné. L'utilisation de profils métaboliques est très répandue en élevage laitier. En élevage allaitant, les intervalles de référence sont moins bien documentés. L'urée, les β -hydroxybutyrates (BOH) et les Acides Gras Non Estérifiés (AGNE) sont les marqueurs métaboliques les plus utilisés.

L'urée

L'azote absorbé dans le sang provient de la diffusion de l'ammoniac au travers de la paroi du rumen et du transport des acides aminés et peptides de l'intestin grêle (Figure 6).

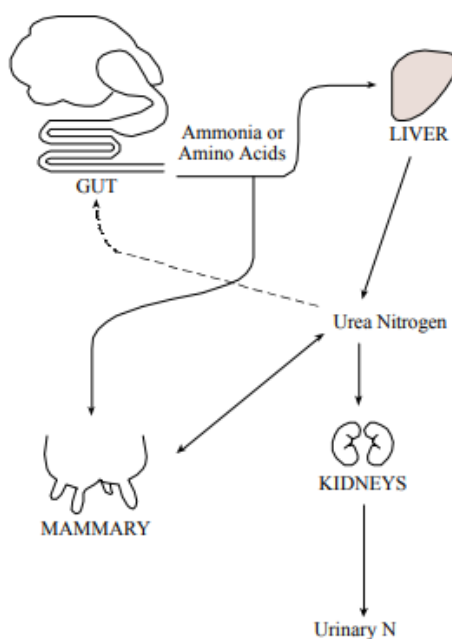


Figure 6 : Métabolisme de l'azote chez les ruminants (Kohn, 2007).

L'ammoniac toxique est rapidement transformé en urée par le foie. L'urémie constitue un indicateur pertinent et facilement mesurable du statut azoté d'un groupe d'animal. Son évaluation sur un groupe d'animaux permettra de vérifier l'équilibre protéique de la ration ou d'identifier un problème alimentaire (Kohn et al., 2005) (Preston et al., 1965).

- Des variations physiologiques des valeurs d'urémie ont été décrites chez les femelles allaitantes, en fonction de la saison, de l'âge et du statut physiologique (Tableau 2).

Paramètres		Population	Moyenne urée sérique (mmol/L)	Ecart-type
Saison	Juin	351-357 XShorthorn 12-14 ans	7,5	2,3
	Septembre		7,5	1,5
Age	2 ans	11 génisses Shorthorn	4,9	1,4
	4-5 ans	16 vaches Shorthorn	5,0	1,6
	6-10 ans	21 vaches Shorthorn	5,0	2,0
Stade physiologique	J1 postpartum	40-48 vaches Shorthorn	3,0	0,9
	J43		6,3	1,2
	J80 (pic de lactation)		6,6	0,9
	J109		5,4	0,9
	J137		6,5	1,5
	J165		6,0	1,0
	J218 (sevrage)		3,4	0,6
	J247		4,3	0,5
	J275		3,7	0,5
	J303		4,5	0,6
	J331 (tarissement)		3,8	0,5

Tableau 2 : Valeurs moyennes et écart-types des mesures d'urée sériques des vaches allaitantes en fonction de la période de l'année, de l'âge et du stade physiologique (Doornenbal et al., 1988).

- Une urémie élevée indique un apport en azote important, notamment en protéines dégradables. Cependant, lors d'un apport énergétique limité, la mobilisation des protéines endogènes pour la production d'énergie peut entraîner une augmentation de l'urémie.
- Une baisse de l'urémie peut être liée à un régime alimentaire pauvre en protéine ou à une restriction alimentaire. Le cycle de l'urée (entre la circulation sanguine et le rumen) est alors une voie privilégiée.

Les AGNE

Lors de déficit énergétique, la production d'énergie provient de la lipolyse des graisses de réserve. Ce catabolisme des lipides induit un relargage d'acides gras dans la circulation. Pour les différencier les acides gras triglycérides des chylomicrons et des lipoprotéines, ils sont qualifiés d'AGNE. Ils peuvent être utilisés directement comme source d'énergie par la plupart des tissus, notamment musculaires (Adewuyi et al., 2005). Les AGNE circulants sont en partie captés par le foie et y sont estérifiés pour former des triglycérides libérés dans la circulation. Si la synthèse des AGNE est supérieure à leur excréation, les vaches développent une stéatose hépatique, qui peut s'accompagner de troubles métaboliques, et d'une diminution des défenses immunitaires. Il en résulte des infections ou une diminution des performances de reproduction. Les AGNE reflètent donc le niveau de mobilisation des réserves en graisses et sont communément utilisés pour déterminer le statut énergétique des vaches laitières (Adewuyi et al., 2005) :

- Les valeurs plasmatiques des AGNE sont $< 0,2$ mmol/L, quand le bilan énergétique de l'organisme est positif ou nul.
- Des valeurs hautes $> 0,7$ mmol/L indiquent un bilan énergétique négatif, une sous-nutrition, ou sont également observées quand la vache est à jeun. La corrélation entre les AGNE et les apports en UFL est forte et négative : plus la ration est pauvre en énergie, plus la concentration d'AGNE circulants est élevée (Doreau et al., 1983).

Chez la vache laitière en période peripartum, les AGNE sériques sont plus sensibles aux variations de statut énergétique que la NEC et que les BOH (Dale et al., 1979). Ils sont néanmoins très dépendants de la saison de vêlage, du rythme circadien, du stress, du délai prélèvement-prise alimentaire (Bellows et al., 2001) et du moment du vêlage (Figure 7).

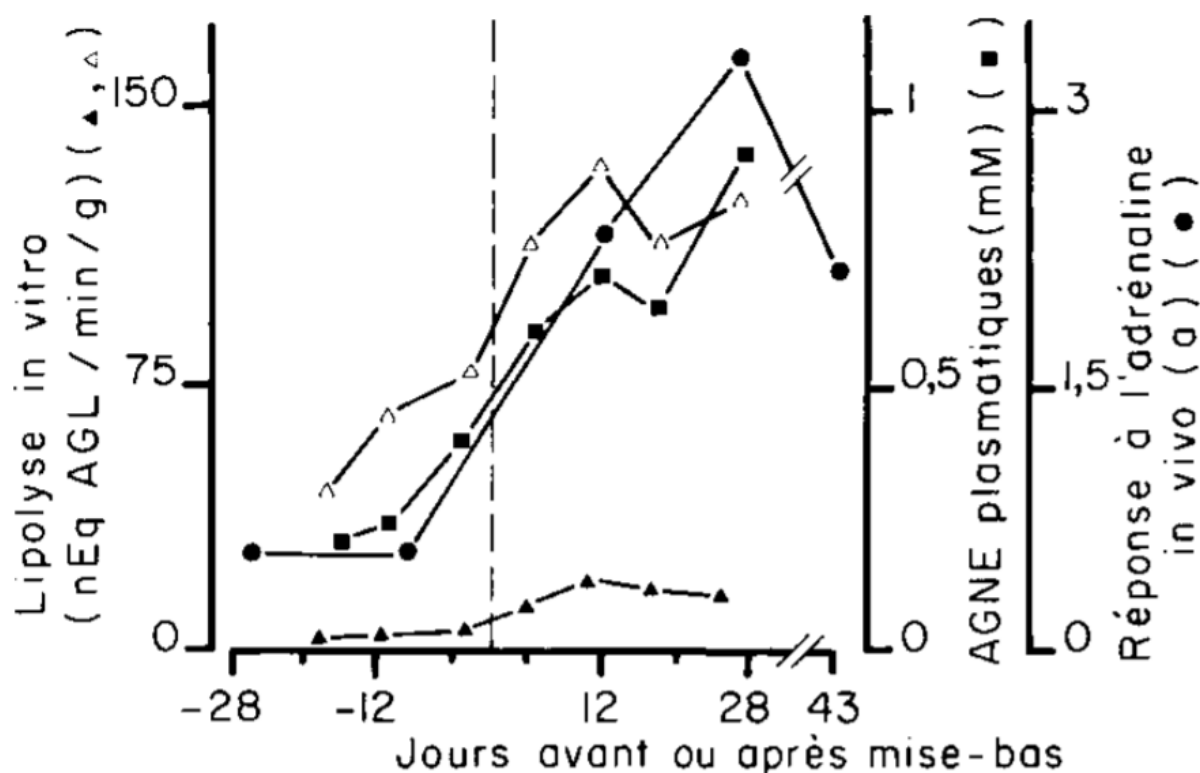


Figure 7 : Lipomobilisation peripartum chez la vache laitière (Chilliard, 1987) : évolution de la lipolyse in vitro (en équivalent molaire d'Acides Gras Libres, nEq AGL) et des AGNE plasmatiques (en mM = mmol/L) et de la réponse à l'adrénaline en fonction des jours autour de la mise bas.

Quelques jours avant le vêlage, la concentration des AGNE augmente entre 0,5 et 1,0 mmol/L. Elle atteint un pic le jour du vêlage entre 0,8 et 1,2 mmol/L en lien avec les changements hormonaux et le stress. Puis en conditions normales, la concentration diminue, jusqu'à atteindre 0,3 mmol/L au bout de 6 semaines postpartum. Chez la vache en déficit énergétique, le potentiel lipolytique du tissu adipeux est élevé durant toute la lactation, après une phase de lipomobilisation particulièrement active pendant les 4 à 8 semaines postpartum (Ortigues, 1991).

Chez la vache laitière, une NEC élevée au vêlage est associée une lipomobilisation plus intense et se traduit par une augmentation marquée des concentrations sanguines en AGNE en amplitude et en durée (Pedron et al., 1993).

Même si le délai vêlage-prélèvement est un facteur de variation des concentrations d'AGNE, des valeurs seuils associées à des risques accrus de maladies postpartum ont été proposées en élevage laitier. Ils sont de 0,3 mmol/L (Chapinal et al., 2011) et 0,4 mmol/L (Roberts et al., 2012) dans la semaine précédant le vêlage. Ces seuils sont de 0,8 mmol/L dans les deux premières semaines de lactation (Roberts et al., 2012).

Les BOH

Lors de déficit énergétique, le métabolisme de la vache, sous contrôle hormonal, s'oriente vers la lipomobilisation, ce qui se traduit par une augmentation des concentrations d'AGNE et de triglycérides qui entrent alors dans la chaîne de réaction de β -oxydation dans le foie. En cas de déficit de précurseurs glucogéniques (acides gras volatils : acide acétique, propionique et butyrique), l'oxydation est partielle et produit des corps cétoniques (cétogenèse de l'acétone, acétylacétate, β -hydroxybutyrate) (Figure 8).

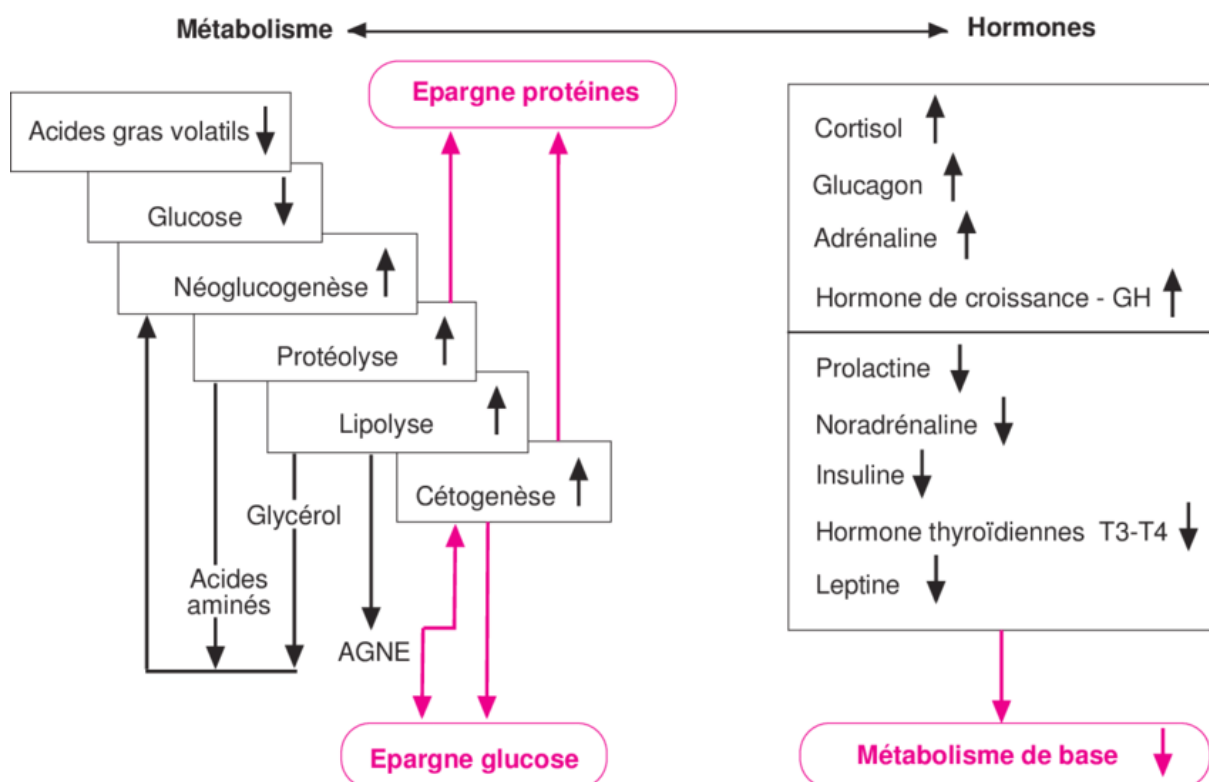


Figure 8 : Adaptation métaboliques et hormonales à la sous-alimentation chez les ruminants (Blanc et al., 2004 ; Chilliard et al., 1998). Lors d'une sous-alimentation, les réponses endocriniennes et métaboliques permettent une mobilisation séquentielle des réserves corporelles, une épargne des métabolites limitants (glucose et acides aminés), et une diminution du métabolisme de base et autres dépenses énergétiques.

Certains organes cibles, comme les muscles, peuvent utiliser ces corps cétoniques comme source d'énergie jusqu'à une certaine limite. Ils contribuent aux besoins énergétiques liés à

l'entretien à hauteur de 7 à 12% (Brockman, 1979). Au-delà, leur accumulation induit un état pathologique, la cétose. La cétose clinique se caractérise par un amaigrissement, une dysorexie, une chute de la production de lait, des troubles intestinaux et des signes nerveux. En cas de cétose subclinique, il n'y a pas de signes cliniques évocateurs mais une hypercétonémie associée à des risques accrus de maladie peripartum. L'hypercétonémie survient le plus souvent au cours premiers mois de lactation avec un pic de prévalence atteint dans les deux premières semaines postpartum. Elle est plus souvent rencontrée chez les multipares (Duffield et al., 1997). Ainsi, le dosage des BOH est un indicateur pertinent de la cétose entre 5 et 50 jours postpartum.

- Lors d'apports alimentaires énergétiques suffisants, les concentrations en BOH n'excèdent pas 4 mg/100mL, soit 0,8 mmol/L.

- L'hypercétonémie chez la vache laitière a été fixée pour des concentrations en BOH supérieures à 1,2 mmol/L (Duffield et al., 2009). En début de lactation, le niveau de BOH est corrélé négativement au bilan énergétique ($r = -0,43$ après le repas et $-0,58$ avant le repas) (Schelcher et al., 1995). Chez la vache allaitante, une valeur seuil de concentration en BOH de 0,8 mmol/L est associée à un risque relatif de 15, 11 et 6 de développer des affections postpartum, respectivement la métrite puerpérale, la gémellité et la rétention placentaire. La prévalence de l'hypercétonémie définie par cette valeur seuil, est de 6,1%. D'autres valeurs seuils ont été proposées en prenant en compte des critères liés à la santé des veaux. Ainsi, les veaux des mères avec une concentration en BOH $\geq 0,5$ ou 0,6 mmol/L ont un risque relatif de 1,9 ou 1,8 d'avoir une diarrhée comparativement aux veaux des mères avec des concentrations $< 0,5$ ou 0,6 mmol/L (Egal, 2013).

Les mesures de BOH sanguins sont très utilisées en élevage car c'est le corps cétonique circulant prédominant dans le sang et le plus stable et sa mesure est possible au pied de l'animal. Néanmoins la concentration du BOH est très dépendante du moment du repas, d'où la difficulté de déterminer des intervalles de valeurs plasmatiques « normales ».

Une étude a comparé la valeur prédictive et la précocité des deux marqueurs du métabolisme énergétique, le BOH et les AGNE à détecter la cétose subclinique chez la vache laitière (Alves de Oliveira et al., 2014). Des valeurs d'AGNE dans les 14 jours pré-partum $> 0,29$ mmol/L sont en moyenne associés à 10 fois plus de risque de développer une cétose, avec une valeur prédictive de 82%. En revanche la capacité des BOH (seuil de 1,2 mmol/L dans les 7 jours postpartum, considéré comme le gold standard) à détecter les femelles en subcétose n'est pas élevée.

4. Evaluation des performances de reproduction

Plusieurs paramètres sont classiquement utilisés pour évaluer les performances de reproduction : des paramètres de fertilité pour évaluer l'aptitude d'une vache à être fécondée lors de sa mise à la reproduction, et des paramètres de fécondité pour mesurer la capacité d'une femelle à être fécondée dans les délais requis. Les paramètres de fécondité utilisés en élevage allaitant sont les suivants :

- L'intervalle vêlage – reprise de cyclicité (IVCy) est un paramètre qui permet d'évaluer la durée de l'anœstrus postpartum. Elle est donnée par le nombre de jours entre le vêlage et l'observation des premières chaleurs ou la reprise d'activité ovarienne (présence de corps jaune). Elle varie entre 20 et 120 jours chez la vache allaitante (Agabriel et al., 1992). Une étude sur des vaches Charolaises rapporte une reprise de cyclicité dès 30 jours pour 32% des femelles, à 50 jours pour 68 % et à 70 jours pour 88%, avec une moyenne de 64 ± 22 jours chez les multipares (Blanc, 2002). Plusieurs facteurs influencent la reprise de cyclicité : la race, le rang de vêlage, l'état nutritionnel, le niveau alimentaire, le mode d'allaitement (Disenhaus, 2008), la date de mise en présence du taureau (Blanc, 2002).
- L'intervalle vêlage – vêlage (IVV) correspond à la période en jours entre 2 vêlages successifs. L'IVV moyen de la race Limousine est de 389 jours pour les primipares et de 364 jours pour les multipares (Agabriel et al., 1992).
- L'intervalle reprise de cyclicité – saillie/insémination fécondante (ICyIF) correspondant à la différence entre l'IVCy et l'IVIF. Ce paramètre est aussi lié à la fertilité car l'allongement de cet intervalle peut être lié à des échecs de gestation.

5. Conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction et de production

Le Tableau 3 synthétise les études évaluant les conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction et de production.

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
(Hight, 1966)	122 vaches Angus	Haut/Bas niveau alimentaire, 90-83j pré-partum				Productivité numérique : 93,4% vs. 75,4%. Les veaux des mères sous-alimentées plus légers de 20% à la naissance. Plus légers au sevrage.
(Dunn et al., 1969)	140 primipares Angus et Hereford	Régime pré-partum : 8,7 et 17,3Mcal 135-142 j avant le vêlage	Taux de retour en chaleur à 60j: 69% pour le régime haut, 44% pour le régime bas	IVSF 77j pour le régime haut, 85j pour le régime bas		
		Régime postpartum : 27,3 ; 48,2 et 48,2Mcal 120 j après le vêlage		Taux de gestation à 120j post partum : 72% contre 64%		
(Tudor, 1972)	106 vaches Hereford	Ration moyenne : 3,5kg foin raygrass par vache par jour Ration riche : + 3,5kg d'orge Pendant les 180 derniers jours de gestation			Réduction de la durée moyenne de gestation de 5,4j sur les 277,3j. Pas d'influence sur l'incidence de la dystocie et la rétention placentaire	Réduit le poids de naissance de 6,8kg à 24,1kg. Pas d'influence sur la mortalité des veaux.
(Corah et al., 1975)	102 primipares Hereford	Rations pré-partum : 65% et 50% des NRC 100j avant le vêlage Rations Postpartum : 117% et 50% des NRC 30j après le vêlage			Pas d'effet sur l'incidence des dystocies	Restriction prolongée (avant et après le vêlage) : Poids de naissance plus faibles (- 3,7kg) Plus de veaux morts à la naissance ou peu après (Rapport veaux sevrés/veaux nés=81% contre 100%) Poids de sevrage plus faible (- 11,7kg)
(Bellows, Short, 1978)	62 vaches AngusX Hereford	Niveau d'alimentation haut ou bas 90 jours avant vêlage	Ration riche : anœstrus postpartum plus court		Ration riche : pas d'incidence sur la difficulté de naissance	Ration riche : augmente le poids de naissance

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
(Easdon et al., 1985)	12 vaches Hereford	Niveau d'alimentation haut : ration de maintien à 10kg/j de lait produit Niveau bas : 70% de cette ration 63 j postpartum	Ration haute : première ovulation à 39+/-8,7j postpartum et cycles réguliers. Ration basse : 65,3 +/-33,2j et cyclicité ovarienne irrégulière.		Différence sur les concentrations plasmatiques d'AGNE et d'urée.	
(Richards et al., 1986a)	355 vaches Angus et croisées	NEC mesurée et maintenue en prépartum de 4 à 7/9. A partir du vêlage, 4 régimes énergétiques : haut, moyen, bas, bas puis flush.	Pas d'effet du régime postpartum sur l'intervalle vêlage-première ovulation (IVO1), la NEC au vêlage principal facteur influençant le retour en chaleur : - NEC<4/9 IVO1 61j - NEC>5/9 IVO1 49j	Pas d'effet du régime postpartum sur l'intervalle vêlage-saillie fécondante (IVSF), la NEC au vêlage principal facteur influençant la gestation : - NEC<4/9 IVSF 90j - NEC>5/9 IVSF 84j - NEC<4, plus la ration est riche plus le taux de gestation est élevé - Parmi les vaches à NEC<4, celles qui ont une perte de poids précoce et un flushing ont un meilleur taux de gestation que les vaches de même profil de NEC soumise au régime bas		Les vaches soumises à un régime bas durant les 30 jours de mise à la reproduction ont des veaux plus légers au sevrage que les vaches sous les autres régimes
(Boyd et al., 1987)	37 multipares Angus	Niveau d'alimentation haut et moyen 50 jours avant le vêlage	Performances de reproduction similaires			Poids de naissance et de sevrage plus grands pour les vaches à haut niveau alimentaire (resp. +3kg et +13kg)

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
(Garel et al., 1988)	Revue sur dix saisons de vêlages sur des vaches Salers	-1,5 à -2 UFL/j en moyenne au cours des 3 derniers mois de gestation				Pas d'incidence sur le poids et la vitalité du veau à la naissance, sur la production laitière ultérieure et la croissance du veau si retour à une alimentation normale après le vêlage.
		- Restriction modérée : 5,4 UFL, 86% des besoins sur les 3 derniers mois de gestation - Restriction sévère : 4,5UFL, 72% des besoins sur les 3 derniers mois de gestation	- le délai de retour en chaleur plus long : 65% des vaches cyclées 60j postpartum pour la restriction modérée, 42% pour la restriction sévère.	- le taux de gestation global réduit : 95% contre 89%		
		Sans restriction : 9,2 UFL, 105% des besoins sur les 3 premiers mois de lactation Avec restriction : 7,0 UFL, 84% des besoins sur les 3 premiers mois de lactation	Sous-alimentation : IVV augmenté passe de 384j à 406j	Sous-alimentation : diminue la fertilité sur œstrus induit de 59% à 21% de vêlages sur ces œstrus		Pas de diminution significative de la production de lait. Mais une sous-alimentation prolongée réduit la persistance de production laitière (-1kg).
		Niveau alimentaire hivernal haut et bas	NEC au vêlage faible 1,5 versus 3/5 : - quel que soit le régime, retour en chaleur retardé	NEC au vêlage faible 1,5 versus 3/5 : - si régime bas, taux de gestation insuffisant diminué à 70%.		Poids des veaux et production laitière peu affectés.
		Sous-alimentation répétée au cours des hivers successifs : 4 lactations successives sous un régime restreint de 1,5UFL/j (-20% des besoins)				Peu d'effet sur la croissance moyenne du poids des veaux de la naissance au sevrage.

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
		Restriction au pâturage (+20% de chargement) qui prolonge la restriction hivernale (-1,5 UFL)				Poids des veaux au sevrage plus faibles de 18 à 28kg.
	Salers primipares	Restriction hivernale de 1,5 UFL/j	IVV augmenté de 82j à 102j			Baisse de GMQ des veaux de la naissance au sevrage pour la 1 ^{ière} et la 2 ^{nde} lactation de 277 à 259 kg.
(Hough et al., 1990)	26 vaches Angus	Restriction alimentaire les 90 derniers jours de gestation à 57% des NRC (en énergie et protéines)				Pas d'influence sur la concentration en IgG du colostrum.
(Houghton et al., 1990)	128 vaches Charolais X Angus	Régime pré-partum pauvre (70% NRC) ou moyen (100% des NRC) Régime postpartum pauvre (70% des NRC) ou riche (130% des NRC)	- Régime pré et postpartum pauvres : IVO1 et % d'ancêtres dans les 60j augmentés	- Régime postpartum haut en énergie augmente le taux de gestation - Les taux de gestation les plus hauts sont observés sur des vaches s'approchant ou restant à une NEC moyenne de 3 du vêlage à la fécondation		Restriction pré-partum influe sur le - Poids naissance 34,7kg contre 39kg - Poids à 105j 127,9kg contre 144,6kg
(Petit, Agabriel, 1993)	Vaches Charolaises	Deux niveaux d'alimentation hivernale sur 4 ans : haut (besoins) et bas (besoins -2,5UFL/j (-1,5UFL/j pour les primipares))	Perte d'un point de NEC à la fin de la période hivernale : +8 à 10j sur l'IVV, 30j pour les primipares. Lien avec première ovulation/chaueur retardée. Taux de vaches cyclée à 70j postpartum diminué chez les vaches amaigries (72% vs. 56%).			Pas d'effet sur le poids et la vitalité à la naissance (limite de perte de poids de la mère >5% sur les 2-4 derniers mois de gestation pour réduire le poids de naissance, cas d'amaigrissement extrême pour atteindre la vitalité du veau, effets visibles de la sous nutrition sur les gestations gémellaires). Pas d'effet sur la production laitière (et croissance du veau). Sauf pour les primipares (7,3 vs. 6,4kg/j).

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
(Stagg et al., 1998)	103 vaches Hereford ou AngusXHolstein	Ration basse : 100% des besoins ARC Ration haute : 150% des besoins ARC en postpartum Puis 3 lots à J30 : tétée ad libitum, tétée une fois/j avec contact permanent, tétée une fois/j avec séparation complète	Pas d'effet du régime sur la durée de l'anoestrus. Mais durée plus courte pour le deuxième lot. Le rôle du lien mère-veau serait déterminant dans la durée de l'anoestrus.			
(Bellows et al., 2001)	152 primipares XAngus, Hereford, Limousine, Piémontaises	2 groupes avec alimentation identique en énergie et en matière azotée. Complément en matière grasse (2,4-5,1%) pendant les 65,3 derniers jours de gestation		Taux de gestation plus élevé. Biais avec l'apport de fourrage en fin de gestation.		Poids de naissance et de sevrage des veaux plus élevé.
(F Blanc et al., 2004)	Vaches Limousines et Salers	Régime haut : couverture des besoins Régime bas : 80% des besoins couverts en hiver Suivi sur 4 lactations.	Ecart de durée de l'anoestrus postpartum entre animaux sous régime haut et régime bas plus faible chez la Salers (+7j) que chez la Limousine (+12j).		En lien direct avec la longévité, taux de survie des vaches en cas de réforme des vaches vides.	La Salers privilégie la production laitière pour le veau et les gestations suivantes. La Limousine privilégie sa propre croissance et le renouvellement de ses réserves.
(Ponsart et al., 2006)	488 vaches Prim'Holstein	Observations de terrain entre le vêlage et 120j postpartum. 4 profils de suivi des NEC : bon état corporel, perte d'état élevée après le vêlage, reprise d'état rapide et état insuffisant.	Pour les profils état insuffisant et perte d'état élevée, intervalle vêlage-mise à la reproduction significativement allongé par rapport aux profils bon état.		Effet du pic de lactation et pathologie postpartum sur cet intervalle (+12j).	

Références (par ordre chronologique)	Population étudiée	Niveau de restriction alimentaire	Performances de reproduction			Performances de production
			Reprise cyclicité	Fécondation	Affections peripartum	
(Giuliodori et al., 2011)	20 vaches Prim'Holstein	Pâturage et supplémentation en concentrés.	Vaches avec retard d'activité ovarienne (IVO1 > 5 semaines) : NEC plus faibles (2,73 vs. 2,94), concentration en AGNE plus hautes (0,43 vs. 0,35 mM) avec des valeurs seuils de 0,39 mM pour le risque de retard.			

Tableau 3 : Synthèse de différentes études établissant un lien entre déficit énergétique/azoté et performance de reproduction/production des vaches allaitantes.

L'ensemble des données bibliographiques montrent qu'un déficit énergétique pré-partum ou postpartum a des répercussions sur les performances de reproduction. Il va essentiellement entrainer un allongement de l'anœstrus postpartum. Ainsi, chez les femelles maigres, la première ovulation survient après 10 vagues de croissance folliculaire, entre 70 et 100 jours postpartum, tandis que les femelles en bon état ont une première ovulation en moyenne après 3,2 vagues de croissance folliculaire (Crowe et al., 2014). D'autres mécanismes physiologiques ont été observés lors de restriction alimentaire, comme des concentrations en AGNE plus élevées (168 vs. 309 µeq/L), une fréquence des concentrations de LH plus faibles, des follicules en croissance et un follicule dominant moins gros (Grimard et al., 1995).

Ce déficit énergétique pourrait également dégrader la fertilité, mais ce critère est rarement évalué, compte tenu de l'utilisation prépondérante de la monte naturelle en élevage allaitant. Il en résulte un allongement de l'intervalle Vêlage-Insémination ou Saillie Fécondante (IVSF) et une diminution du taux de gestation à un stade postpartum déterminé. Sur l'ensemble des études, le déficit énergétique pré-partum semble avoir peu d'influence sur la difficulté de vêlage et sur les affections peripartum (non délivrances) (Tudor, 1972 ; Corah et al., 1975 ; Bellows, Short, 1978 ; Ponsart et al., 2006).

Le déficit énergétique de la vache a un effet sur la croissance du veau. Le poids du veau à la naissance est plus faible, ainsi que la production laitière. Il en résulte un poids au sevrage diminué (Richards et al., 1986b ; Boyd et al., 1987 ; Garel et al., 1988 ; Petit, Agabriel, 1993). La viabilité du veau est diminuée lors de restriction alimentaire sévère (Hight, 1966 ; Corah et al., 1975).

complémenté avec de céréales, dans l'étable. Ce type d'élevage permet de conférer à la viande de veau un caractère rosé (INAO, 1996).

Les 21 élevages inclus dans l'étude sont en système de production « veau sous la mère ». Les élevages avec des antécédents de problèmes sanitaires depuis moins de 2 ans relatifs à des maladies affectant la fonction de reproduction, telles que la fièvre Q, le virus Schmallerberg, la BVD... ont été exclus de l'étude.

390 vaches allaitantes provenant de 21 élevages (Figure 10) ont été incluses dans l'étude et suivies de septembre 2017 à juin 2019.

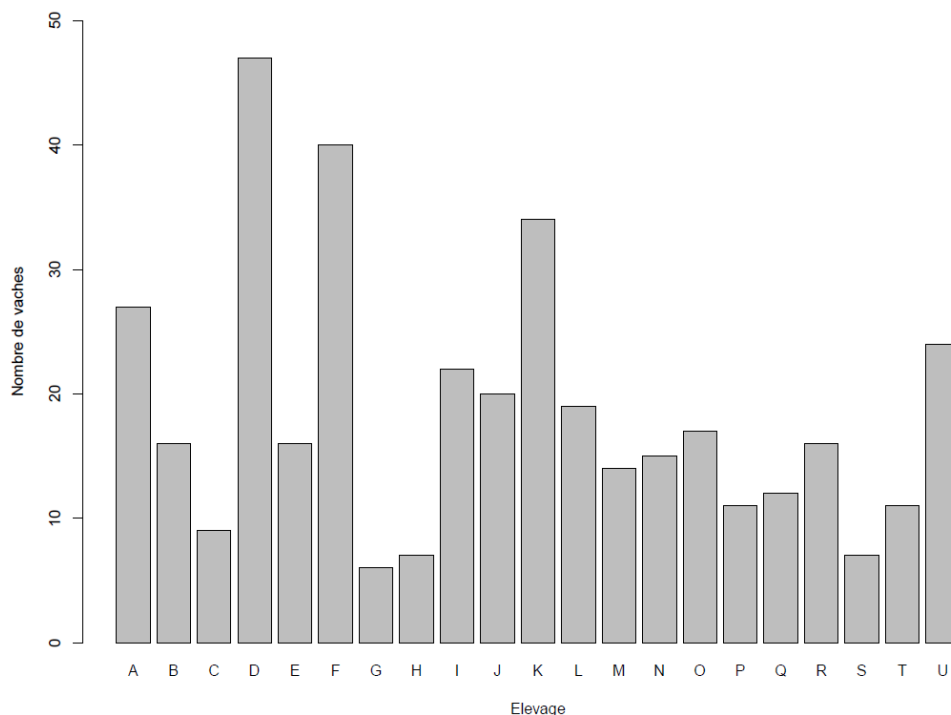


Figure 10 : Répartition des 390 vaches incluses dans l'étude en fonction des 21 élevages.

Le nombre de vaches suivies dans chaque élevage varie de 6 à 47, avec une moyenne de 18 vaches par élevage. L'effectif total des troupeaux inclus dans l'étude varie de 28 à 94 vaches avec une moyenne de 62. Les vaches suivies correspondent aux vaches dont le vêlage s'est déroulé entre septembre 2017 et mai 2018. Elles représentent 12 à 50% de l'effectif total des élevages, avec une moyenne de 29% de vaches suivies.

Les animaux sont principalement de race Limousine (n = 66%) ou Blonde d'Aquitaine (n = 32%), ou Aubrac (n = 2%) (Figure 11).

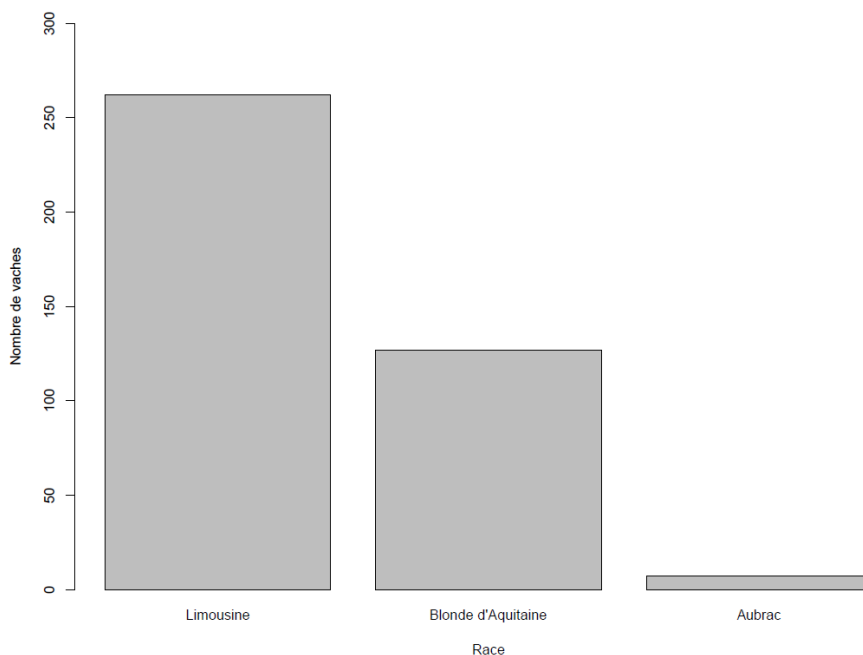


Figure 11 : Répartition des 390 vaches incluses dans l'étude en fonction de leur race.

Dans le système d'élevage du Ségala, les vêlages sont répartis tout au long de l'année. Les vaches incluses dans l'étude ont vêlé entre le 6 septembre 2017 et le 5 mai 2018, de la rentrée à l'étable jusqu'au printemps (Figure 12). La répartition des vêlages est relativement homogène du mois d'octobre au mois d'avril, regroupant 95% des vêlages pour les vaches incluses dans l'étude.

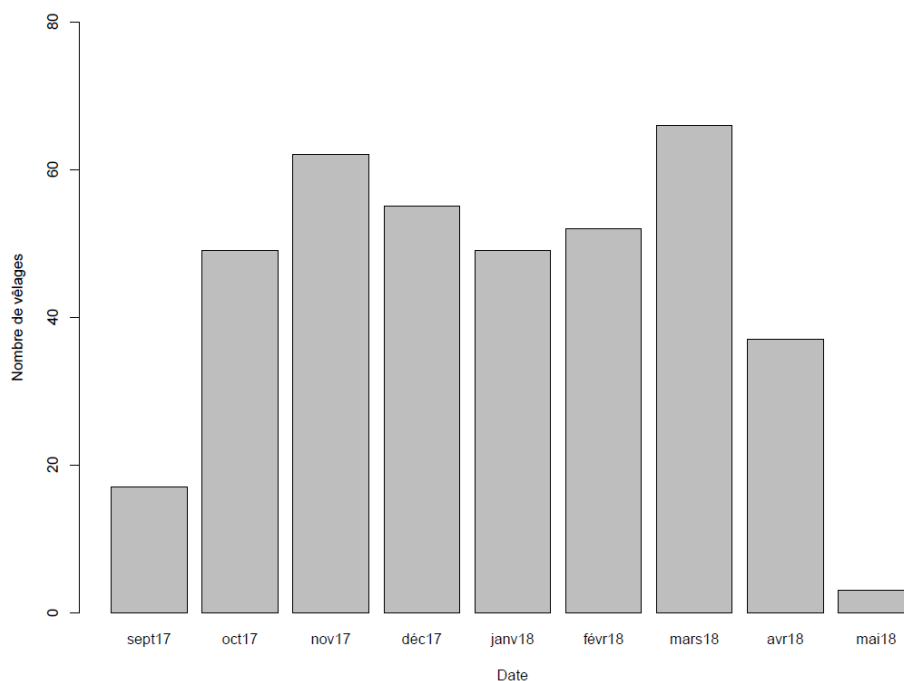


Figure 12 : Répartition mensuelle des 390 vêlages pour les vaches incluses dans l'étude.

Parmi les vaches suivies, les primipares sont au nombre de 30 contre 360 multipares et représentent 7,7% de l'effectif (Figure 13). Pour 45 vaches, le rang de vêlage n'a pas été renseigné. Le rang moyen de vêlage est de 5, avec 40% des vaches entre le 2^{ième} et le 4^{ième} vêlage. 28 vaches ont vêlé 10 fois ou plus.

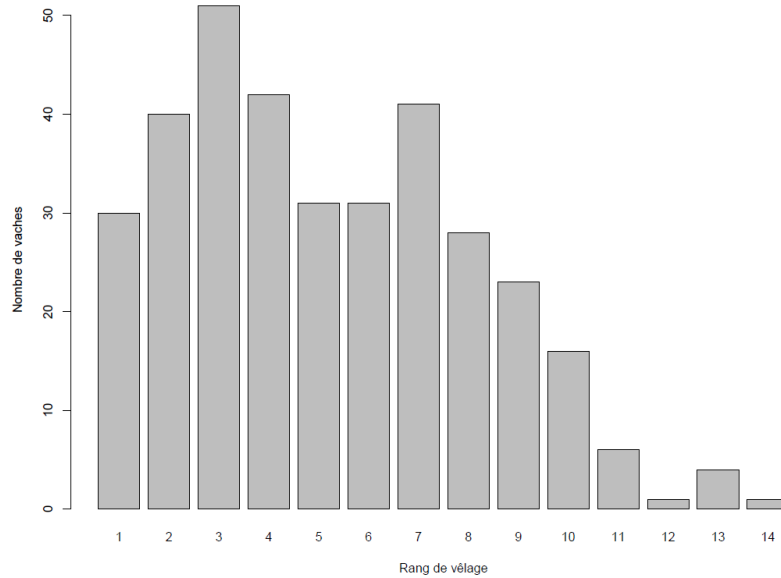


Figure 13 : Répartition des 345 vaches dont le rang de vêlage est renseigné, en fonction de leur rang de vêlage.

L'âge des vaches varie entre 2 et 17 ans avec un âge moyen de 7,9 ans. L'âge moyen au premier vêlage pour les 31 primipares est de 33,6 mois (Figure 14). 5 primipares ont moins de 2,5 ans. Pour 4 vaches, la date de naissance n'a pas été renseignée.

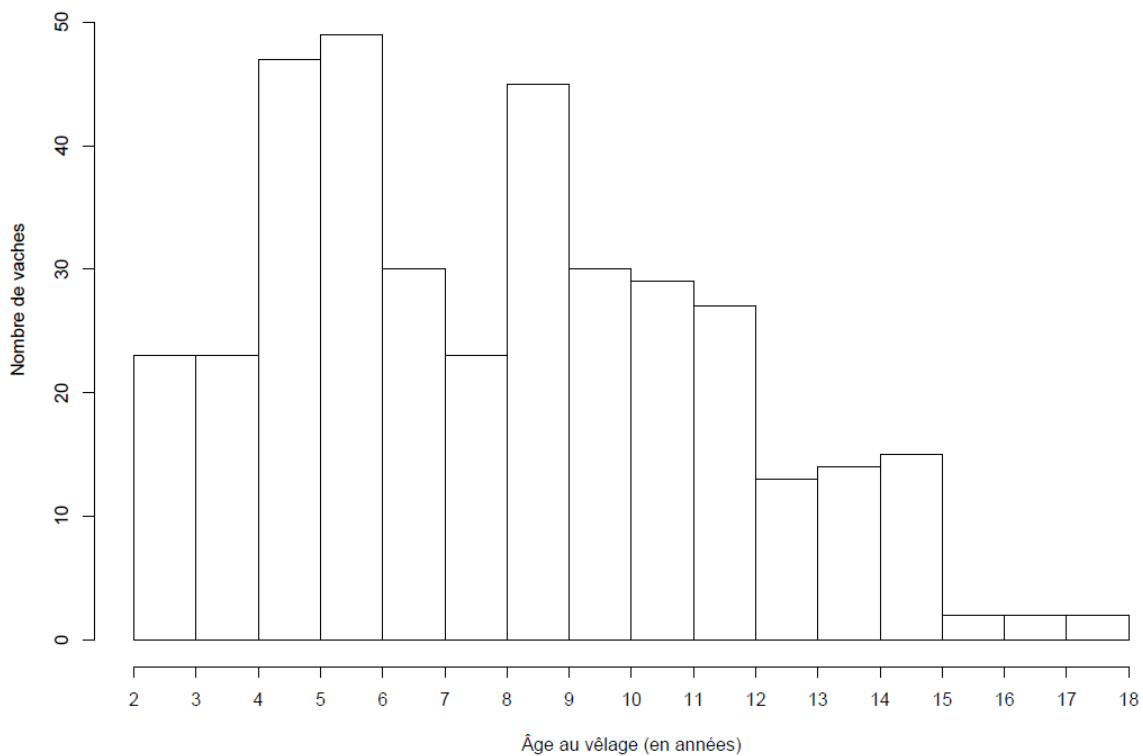


Figure 14 : Répartition des 377 vaches dont l'âge est renseigné, incluses dans l'étude en fonction de leur âge au moment du vêlage n.

Le mode de reproduction majoritaire est la monte naturelle (MN) pour 56% des vaches (Figure 15). L'insémination artificielle (IA) a été utilisée sur 23% des femelles incluses dans l'étude et pour 21% d'entre-elles un mode de reproduction mixte (insémination et monte naturelle suivant les femelles).

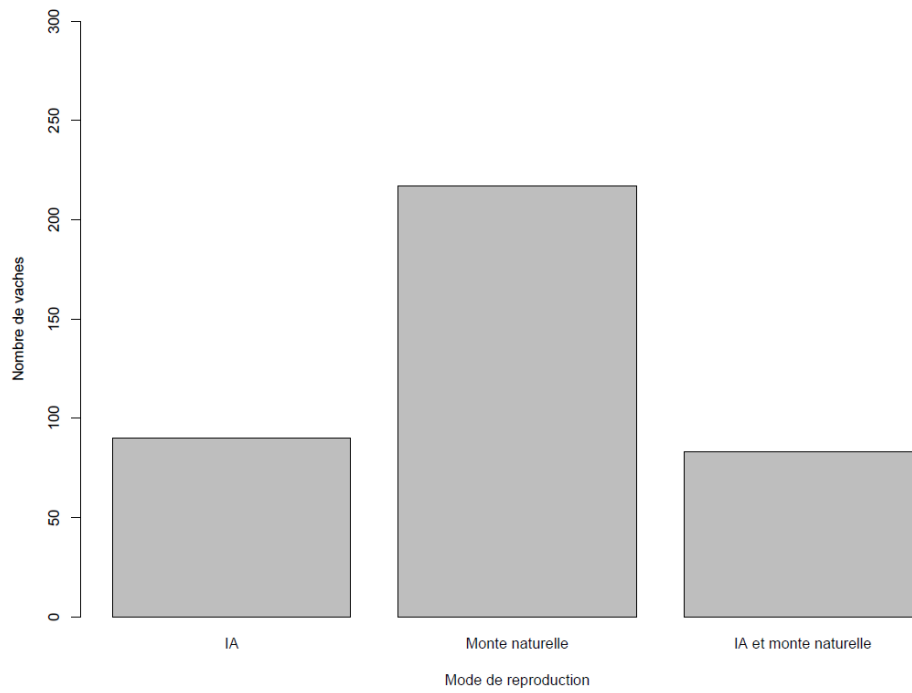


Figure 15 : Répartition des 390 vaches en fonction du mode de reproduction (IA, Monte naturelle ou mixte, IA et monte naturelle).

Les caractéristiques des élevages inclus dans l'étude (nombre d'animaux et conduite d'élevage) sont décrites dans le Tableau 4 :

Élevage	Effectif du troupeau	Effectif des vaches incluses dans l'étude	Race LI : limousine BA : blonde d'Aquitaine AU : aubrac	Type de reproduction MN : monte naturelle IA : insémination artificielle	Nombre de taureaux dans l'élevage	Âge moyen au premier vêlage recherché	Âge moyen de des vaches incluses dans l'étude	Accès à l'extérieur l'hiver	Alimentation hivernale	Complémentation énergétique/azotée (stade physiologique)	Complémentation en oligo-élément (produit, quantité, date, période, modalité distribution)	UTH	Date de rentrée à l'étable en 2017-2018	Date de mise à l'herbe en 2018
A	75	27	LI	MN+IA (génisses)	3	2 ans et 8 mois	10 ans	Oui	Ensilage de méteil	Farine de céréales au vêlage 2,5kg	Toute l'année	1,25	15-novembre	15-mars
B	55	16	LI	MN	5	30 mois	8 ans	Non	Enrubannage ray grass trèfle, foin de prairie	Aliment complet (veaux)		1	20-novembre	Début avril
C	48	9	BA	IA	/	2,5-3 ans	10 ans	Oui	Enrubannage	Farine de céréales	En hiver	1	Début novembre	Début avril
D	92	47	LI	MN	2	3 ans	10 ans	Oui	Enrubannage ray grass, foin	Céréales	En hiver	2,5	Fin octobre	Début décembre
E	40	16	LI	IA	/	30 mois	9 ans 8 mois	Oui	Ensilage méteil, foin de luzerne, foin de pré	Céréales	5/25/5 toute l'année	1	Début novembre	Février
F	90	40	LI	MN	3	2 ans	11 ans 6 mois	Oui	Ensilage de ray grass, méteil, foin, paille	Céréales		2,5	15-novembre	15-mars
G	30	6	BA	IA	/	2,5 ans	11 ans 6 mois	Oui	Foin	Céréales (orge, triticale, avoine)		2	Décembre	Mars-avril
H	28	7	BA	IA	/	3 ans	5 ans 6 mois	Oui	Ensilage méteil, foin	Non	5/10/3	1	Fin novembre	Mars-avril
I	60	22	BA	MN+IA (pour un lot car problème taureau)	2	3 ans	7 ans 6 mois	Oui	Foin, ensilage de méteil	Toute l'année : céréales, méteil Hiver : complément azoté	Hiver : AMV Néolait® en hiver. 1,5 mois avant vêlage : Octalimousin®	1,25	20-novembre	15-avril
J	80	20	LI	MN	2	2 ans	11 ans	Oui	Enrubannage, foin	Céréales (maïs, orge, blé), complément azoté Bovis 20®	AMV BS N25®	2,25	Octobre-novembre	Fin mars
K	94	34	LI	MN	2	32 mois	8 ans 8 mois	Oui	Enrubannage herbe, ensilage ray grass et maïs foin de trèfle	Non	Hiver : Polydor® vache allaitante Mars : bolus Dietevit®	2	Novembre	Mars-avril

Élevage	Effectif du troupeau	Effectif des vaches incluses dans l'étude	Race LI : limousine BA : blonde d'Aquitaine AU : aubrac	Type de reproduction MN : monte naturelle IA : insémination artificielle	Nombre de taureaux dans l'élevage	Âge moyen au premier vêlage recherché	Âge moyen de des vaches incluses dans l'étude	Accès à l'extérieur l'hiver	Alimentation hivernale	Complémentation énergétique/azotée (stade physiologique)	Complémentation en oligoélément (produit, quantité, date, période, modalité distribution)	UTH	Date de rentrée à l'étable en 2017-2018	Date de mise à l'herbe en 2018
L	38	19	BA	MN+IA (pour le renouvellement)	1	30-36 mois	7 ans 2 mois	Oui	Enrubannage, foin	Farine céréales (triticale, orge) tourteau de colza	Néolait®	2	15-novembre	15-mars
M	45-47	14	BA	MN	2	3 ans	8 ans 10 mois	Oui	Enrubannage, foin	Céréales (blé, triticale) pour les mères en post vêlage	Cure rentrée-début d'hiver	1	15-novembre	Fin mars-début avril
N	43	15	LI	MN+IA (génisses)	1	3 ans	7 ans	Oui	Foin, enrubannage	Farine de céréales (mélange) au vêlage	Quatre mois avant vêlage : bolus	1	Début décembre	Fin mars
O	85	17	BA	IA+MN (génisses)	1	3 ans	8 ans	Oui	Ensilage d'herbe, méteil, enrubannage	Non	Non	1	Début novembre	Début avril
P	70	11	LI	MN+IA (facilité naissance, renouvellement)	2	30 mois	11 ans	Oui	Ensilage méteil, ray grass, foin	Céréales ou tourteau de colza selon résultats de l'analyse fourrage	Août-avril : 6/20/18 Vitalconcept®, tout le troupeau, 100g/vache	2	15-novembre - 1 ^{er} décembre	Début avril
Q	60-65	12	LI	MN	2	30 mois	8 ans 5 mois	Oui	Foin à volonté, ensilage herbe	Mélange céréales (blé, orge, triticale)	Tous les mois : cure de Sélémine® + AMV 2 mois avant le vêlage : Oséalis® INEO 6/26/5F®	1,5	15-novembre - début décembre	15-mars
R	45	16	LI	MN	1	3 ans	8 ans	Oui	Enrubannage, foin	Farine de céréales	Hiver : Bufflo-tonic®	1	15-janvier	Mars
S		7	AU	MN			10 ans		Ensilage d'herbe, méteil					
T	78	11	LI	MN+IA (génisses et retours)	1	32 mois	7 ans 10 mois	Oui	Foin, ensilage vesce ou pois, enrubannage, foin +/- luzerne	Non	Bloc à lécher	1,5	15-novembre	15-mars

Elevage	Effectif du troupeau	Effectif des vaches incluses dans l'étude	Race LI : limousine BA : blonde d'Aquitaine AU : aubrac	Type de reproduction MN : monte naturelle IA : insémination artificielle	Nombre de taureaux dans l'élevage	Âge moyen au premier vêlage recherché	Âge moyen de des vaches incluses dans l'étude	Accès à l'extérieur l'hiver	Alimentation hivernale	Complémentation énergétique/azotée (stade physiologique)	Complémentation en oligoélément (produit, quantité, date, période, modalité distribution)	UTH	Date de rentrée à l'étable en 2017-2018	Date de mise à l'herbe en 2018
U	87	24	BA+AU	MN+IA (génisses, primipares, aubracs)	2	2 ans	10 ans 6 mois	Oui (sauf si le veau)	Foin, enrubanage trèfle et dactyle	Farine céréales (orge blé triticale) 2,5kg/jour	Seau d'AMV	2	Décembre	Mars

Tableau 4 : Caractéristiques (nombre d'animaux et conduite d'élevage) des 21 élevages inclus dans l'étude.

Parmi les 21 élevages, il y a 11 troupeaux de taille relativement grande (entre 60 et 95 vaches mères) et 9 troupeaux sont de taille plus petite (de 25 à 55 vaches). Plusieurs modes de reproduction sont utilisés : 9 élevages utilisent exclusivement la monte naturelle avec 1 taureau pour 10 à 40 vaches, 4 élevages utilisent l'insémination artificielle uniquement. 7 élevages utilisent les 2 modes de reproduction, réservant l'insémination artificielle à certaines catégories de femelles pour des raisons génétiques : (1) les génisses (5 élevages), et les vaches dont l'éleveur veut garder les produits/le renouvellement (2 élevages), ou (2) certaines femelles dont la conformation du bassin pourrait prédisposer aux dystocies, l'IA permettant l'utilisation de taureaux avec des caractéristiques « vêlages faciles ». Le mode de reproduction mixte peut également être utilisé sur des femelles non fécondées après une IA ou lors d'infertilité du taureau (2 élevages).

La plupart des troupeaux ont un accès à l'extérieur en hiver, le système « veau sous la mère » imposant des pâtures proches du bâtiment afin de pouvoir faire téter les veaux à l'étable.

Les rations étaient à base d'ensilage de maïs ou d'herbe (9), d'enrubannage (10), ou de foin (1). La plupart des rations comprennent une complémentation en céréales (16/21). L'apport énergétique a été évalué entre 11,5 et 12,8UFL à partir de calculs de ration réalisés sur 4 élevages, soit une valeur conforme aux besoins des animaux. Plusieurs modes d'apports en minéraux et vitamines étaient utilisés (en cure ou en bolus).

Les dates de rentrée à l'étable et de sortie au pâturage étaient assez étalées, entre fin octobre et début janvier et entre fin février et avril, respectivement. Elles dépendent à la fois des stocks de fourrages conservés et des pâtures extérieures.

b. Suivi de reproduction

Dans le cadre des suivis de reproduction mis en place par les vétérinaires de la clinique, chaque femelle est examinée au cours de 4 visites, correspondant à 4 périodes définies :

- 21 à 7 jours avant la date de vêlage prévu
- 7 à 20 jours après le vêlage
- 21 à 50 jours après le vêlage
- 51 à 90 jours après le vêlage.

Les délais des visites par rapport au vêlage ont été respectés dans la limite de l'organisation des suivis de reproduction, pour 62 et 64 % des femelles pour les visites peripartum et 81 et 93% pour les visites [21 ; 50] et [51 ; 90] jours après la mise bas (Tableau 5).

Visite	V1	V2	V3	V4
Intervalles définis dans le protocole	[-21 ; -7]	[7 ; 20]	[21 ; 50]	[51 ; 90]
Intervalles réels	[-52 ; -7]	[1 ; 34]	[14 ; 69]	[45 ; 123]
% de visites dans les intervalles prévus	62	64	81	93

Tableau 5 : Analyse des délais réels des visites par rapport au vêlage, comparativement aux intervalles théoriques.

L'ensemble des visites (1498) a été réalisé par 6 intervenants différents (Figure 16). La majorité d'entre-elles (76%) a été effectuée par le vétérinaire 1.

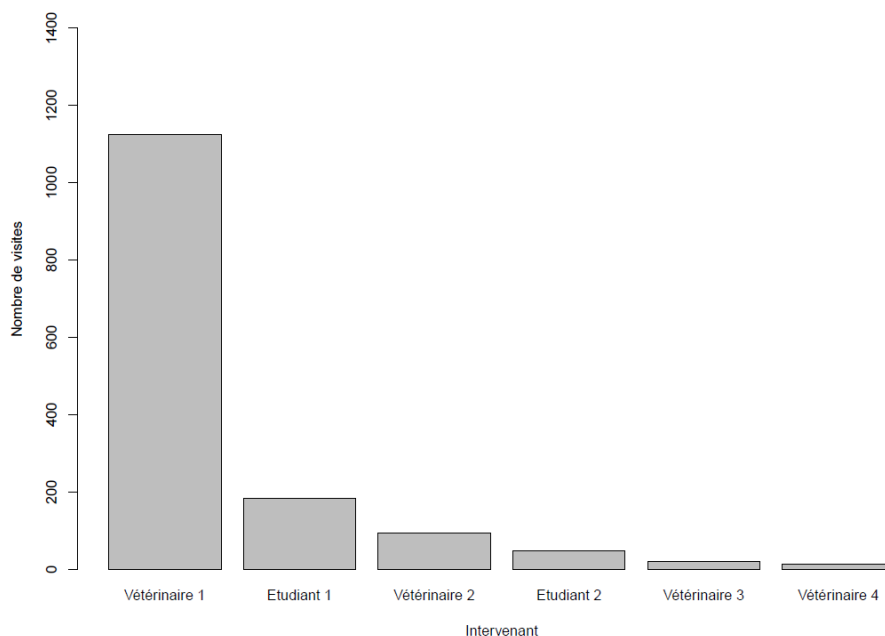


Figure 16 : Répartition des 1498 visites d'élevage en fonction de l'intervenant.

Lors de chaque visite, la NEC des femelles aux quatre périodes-clés a été déterminée selon l'échelle Inra 2015 adaptée par la clinique (*cf.* I. 3. a.). Un prélèvement sanguin de 4 à 5 mL a été réalisé au niveau de la veine coccygienne, avec un porte-tube Vacutainer® sur tube sec avec séparateur acrylique de sérum (BD Vacutainer SSTAdvance®). Les tubes ont été identifiés avec la date, le nom de l'élevage et le numéro de la vache.

Enfin un examen gynécologique a été réalisé lors des 3 périodes postpartum par palpation transrectale et à l'échographie (BCF Technologies®).

- entre 21 et 50 jours postpartum pour le contrôle de l'involution utérine ;
- entre 51 et 90 jours postpartum pour les vaches non vues en chaleur ;
- à partir de 30 jours après l'IA ou la saillie, pour le diagnostic de gestation qui a ensuite été confirmé entre 51 et 90 jours de gestation.

Les critères enregistrés pour ces différents examens gynécologiques sont détaillés dans le Tableau 6.

Visite entre 21 et 50 jours après vêlage : vaches en postpartum	Visite entre 51 et 90 jours : absence de chaleurs ou d'IA au-delà de 50 jours après vêlage	Diagnostic de gestation 30 jours après IA/saillie et confirmation de gestation entre 50 et 90j de gestation
<ul style="list-style-type: none"> • Détection d'éventuelles lésions liées au vêlage • Score d'involution utérine : <ul style="list-style-type: none"> - Normale : col <7cm ; diamètre base des cornes <5cm à 30j ; consistance normale (charnue, tonique), glaires translucides - Retardée : glaires normales, consistance normale, mais taille utérus ou du col anormale, dissymétrie des cornes. • Score d'endométrite (LeBlanc et al., 2002) : <ul style="list-style-type: none"> - légère : glaires muqueuses à muco-purulentes, congestion du col, peu de modification de l'utérus (consistance, taille) - modérée : glaires muco-purulentes, involution utérine plus ou moins retardée - sévère : sécrétions muqueuses à muco-purulentes ou sanieux, plus ou moins nauséabondes, involution utérine retardée, consistance utérus flasque, parfois ferme. - Pyomètre : accumulation de pus dans l'utérus, col fermé, consistance pâteuse à ferme. • Examen échographique des ovaires et organites ovariens <ul style="list-style-type: none"> - Description ovaire droit et gauche : présence des organites ovariens physiologiques (corps jaune ou follicule) ou pathologique (kystes folliculaires ou lutéaux) et taille des organites - Conclusion : <ul style="list-style-type: none"> → Retour cyclicité : observations des chaleurs par l'éleveur ou présence d'un corps jaune → Retour cyclicité péri chaleur : utérus ferme, col ouvert, glaires abondantes, follicule > 1 cm → Non cyclée 	<p>Examen échographique de l'appareil génital afin de déterminer</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une reprise de cyclicité selon les critères décrits précédemment - Une gestation - Un anœstrus prolongé 	<p>Diagnostic de gestation à l'échographie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Détermination des signes de viabilité (battements cardiaques, intégrité de l'embryon ou du fœtus, mouvements fœtaux, anéchogénicité des eaux fœtales) - La présence de jumeaux - En monte naturelle, le stade de gestation est déterminé à partir de la mesure de la longueur cranio-caudale de l'embryon. La cohérence avec la date de saillie est évaluée. - En cas de non gestation, évaluation de l'activité ovarienne - Le diagnostic de gestation positif est systématiquement confirmé environ 30 jours plus tard

Tableau 6 : Critères de reproduction évalués lors des examens gynécologiques, entre 21 et 50 jours postpartum, entre 51 et 90 jours postpartum et lors du diagnostic de gestation.

c. Dosages des marqueurs métaboliques

Dans cette étude, les kits de dosages des marqueurs métaboliques sélectionnés sont utilisables au cabinet, sans recours à un laboratoire.

Les BOH sanguins ont été mesurés au pied de l'animal avec l'appareil portable Optium Xceed®, destiné à la surveillance de l'état acido-cétosique chez les personnes diabétiques en médecine humaine, et les bandelettes Optium® beta-cétone (Abbott Diabete Care Ltd, Witney,

Royaume-Uni). La corrélation entre la mesure par l'appareil et la mesure en laboratoire, considérée comme Gold standard, est de $r=0,97$ (Voyvoda, Erdogan, 2010). Le délai entre le prélèvement sanguin et la distribution de concentrés a été parfois relevé et varie de 0 à 22h30. Pour la mesure des deux autres marqueurs métaboliques (urée et AGNE), les prélèvements sanguins ont été centrifugés à 3000xg pendant 10 min dans un délai inférieur à trois heures après leur collecte, puis congelés en position verticale à -25°C (Stokol, Nydam, 2005). Les analyses ont été réalisées en juin 2019, pour l'ensemble des échantillons collectés entre le 5/09/2017 et le 1/08/2018, soit des délais de conservation entre 10 et 20 mois.

Les AGNE sériques ont été mesurés par une méthode colorimétrique validée (VetPhotometer®, Diaglobal GmbH, Berlin, Allemagne), selon la procédure du fabricant. La gamme de concentrations mesurées s'étend de 0,01 mmol/L à 4 mmol/L. La répétabilité interdosage est inférieure à 12%. Le dosage des AGNE sériques est fondé sur une réaction permettant de fixer une molécule colorée sur la fonction carboxyle des acides gras. Ainsi, la coloration varie en fonction de la concentration en AGNE. Le cycle congélation/décongélation peut altérer la structure des AGNE à chaîne longue. Cependant, la cassure de ces chaînes ne permet pas la création d'une nouvelle fonction carboxyle et donc le nombre de molécules colorées fixées ne varie pas. Ainsi, les dosages en AGNE peuvent être considérés fiables, même après congélation/décongélation.

L'urée sérique a été mesurée à l'aide de test bandelette Urequant® (Kitvia, France) selon la procédure indiquée par le fabricant. Le temps de réaction avant lecture était de 30 min. La gamme de concentrations mesurées s'étend de 2 à 31 mmol/L. L'exactitude du test a été évaluée par comparaison des résultats obtenus sur 222 échantillons entre les bandelettes et une méthode quantitative photométrique validée (Urée Diasys GLDH) (Scholer et al., 1977). La répétabilité intra et interdosage est inférieure à 10 %. L'urée est une petite molécule très stable. Ainsi, les cycles de congélation/décongélation ne modifient donc pas la concentration en urée de l'échantillon.

d. Protocole expérimental

L'ensemble des paramètres évalués au cours des visites est présenté dans le Tableau 7.

	Période	Pré-partum -21j à -7j	Postpartum +7 à +20 j	Pic de lactation +21j à +50j	Mise à la reproduction +51j à +90 j
Paramètres métaboliques	NEC	X	X	X	X
	BOH	X	X	X	X
	AGNE	X	X		
	Urée			X	X
Examen gynécologique	Examens gynécologiques (ovaires, utérus)			Contrôle d'involution utérine	Vaches en anœstrus
	Diagnostic de gestation			À partir +35j post-saillie/IA : signes de viabilité + évaluation du stade	Confirmation de gestation entre 51 et 90j

Tableau 7 : Récapitulatif des paramètres métaboliques (AGNE, BOH, NEC, urée) et des examens gynécologiques évalués lors du suivi des animaux selon le stade par rapport au vêlage.

e. Collecte des données

En parallèle des visites, un tableau de suivi individuel pour la vache a été rempli par les éleveurs jusqu'au sevrage (Tableau 8). Les questionnaires ont été récupérés à la fin de l'étude.

En définitive, l'ensemble des données concernant la vache sont les suivantes :

- Identification de la vache (N° de travail, rang de vêlage, date de vêlage)
- Conditions de vêlage : normal (aide/sans aide), dystocies, autres problèmes....
- Pathologie peripartum : aucune/prolapsus utérin/prolapsus vaginal/mammite/autre...

Pour chaque paramètre, date de l'examen ou du recueil de prélèvement :

- NEC ante-partum, postpartum, pic de lactation
- Involution utérine : normale/retardée
- Endométrite : absence/légère/modérée/sévère
 - Traitement de l'endométrite éventuel
 - Guérison : oui/non
- Activité ovarienne : cyclicité (taille du CJ) ou non
- Lors d'anœstrus vrai : follicules <8 ou >25 mm, kyste lutéinisé
- Date de chaleurs observées
- Date de saillie si celle-ci a été observée ou date des IA
- Résultats du DG et date du DG
- Stade de gestation présumé si non observation de saillie

- BOH pré-partum, peripartum, postpartum, date
- AGNE pré-partum, peripartum date
- urée postpartum date
- confirmation de DG à 51-90 j.

N° de cheptel :							
Vache n°	Date					Remarque	
Visite avant vêlage (21j - 7j pré-partum)		NEC	AGNE, BOH	Se, I, Cu			
Vêlage		Condition	0 : pas vu 1 : vu non aidé 2 : vu aide facile (1 homme) extraction facile 3 : vu, aide difficile, extraction difficile 4 : césarienne sans complication pour le veau 5 : césarienne avec complication pour le veau (anoxie...) 6 : Embryotomie	Cause	Disproportion mère/veau Torsion utérine Malposition fœtale	Suite	Déchirure vulve/vagin Prolapsus utérin Difficulté de relever Rétention placentaire > 6h Rétention placentaire > 24h Métrite (<21 jours)
Prélèvement de colostrum	OUI	NON					
Visite après vêlage (7-20 j postpartum)		NEC	AGNE, BOH				
Examen postpartum (21-50j postpartum)		NEC	BOH, urée				
Reprise de cyclicité constatée le							
Date de fécondation		Type	IA	La date est	Date de l'IA fécondante		
			Saillie		Date de la saillie fécondante observée ou		

			estimée lors du diagnostic de gestation
Diagnostic de gestation le		NEC	BOH, urée
Confirmation du diagnostic le		NEC	

Tableau 8 : Tableau individuel distribué à l'éleveur pour le recueil des informations de la vache.

En définitive, l'ensemble des observations recueillies au cours de l'étude sont représentées sur la frise ci-dessous (Figure 17) :

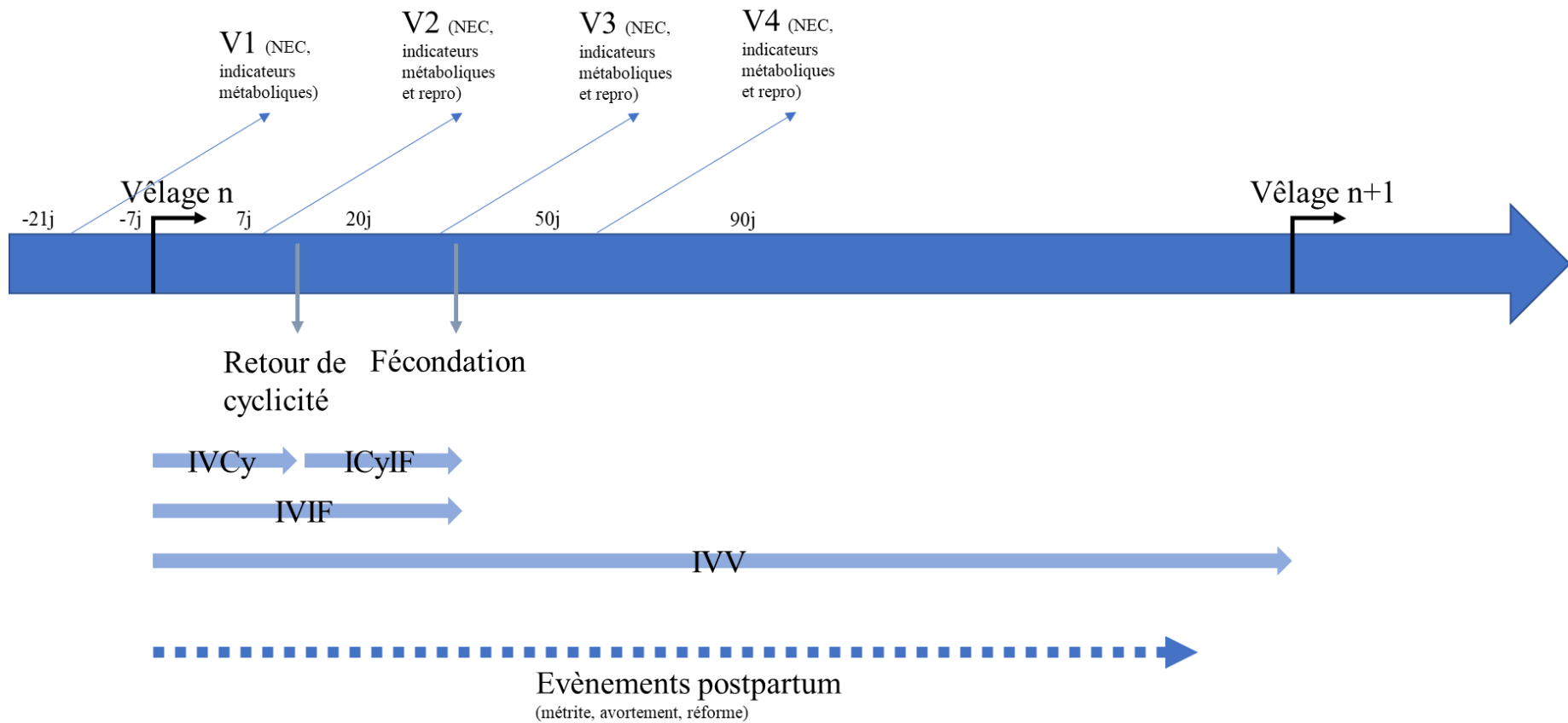


Figure 17 : Schéma temporel des événements de reproduction et des paramètres métaboliques évalués pour chaque vache incluse dans l'étude.

f. Analyse des données

Définition des paramètres de reproduction

L'intervalle vêlage - reprise de cyclicité est déterminé de trois façons :

- (1) Si un corps jaune est mis en évidence lors des visite postpartum (évaluation de l'involution utérine ou de la reprise de cyclicité), l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité est considéré comme le délai entre le vêlage et la date de cette visite.
- (2) La date de reprise de cyclicité correspond à la date de chaleurs si des signes comportementaux des chaleurs (chevauchement ...) ont été observés par l'éleveur.
- (3) En l'absence de signes de cyclicité ou de chaleurs enregistrées, et si une gestation est mise en évidence lors d'un examen gynécologique, l'âge du fœtus est estimé et la date de fécondation est considérée comme la reprise de cyclicité.

L'intervalle vêlage-saillie/insémination fécondante correspond au délai entre le vêlage et la date d'insémination fécondante pour les élevages qui utilisent l'insémination artificielle. Pour les élevages en monte naturelle, lors du diagnostic de gestation, l'évaluation de l'âge du fœtus, par la mesure de sa longueur cranio-caudale, permet rétrospectivement de déterminer l'intervalle vêlage-saillie fécondante. Le cas échéant, cette date de saillie fécondante est confrontée aux enregistrements des chaleurs ou des saillies par l'éleveur.

L'intervalle vêlage-vêlage est calculé à partir des 2 dates de vêlages successives.

L'intervalle reprise cyclicité-insémination/saillie fécondante est le nombre de jours calculé entre la date de reprise de cyclicité et la date de saillie/insémination fécondante.

Analyse statistique des données

Dans un premier temps, les indicateurs du métabolisme énergétique et leur évolution au cours de la vie génitale ont été décrits sur l'ensemble de la population, de façon à déterminer des profils de femelles présentant un déficit énergétique ou un excès d'azote soluble.

Les paramètres de reproduction (Intervalle vêlage-reprise de cyclicité et Intervalle vêlage-IA ou Saillie fécondante) ont ensuite été décrits (médiane, moyenne, effectif). L'influence des profils métaboliques sur les paramètres de reproduction ont été analysés par des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis, complétés en cas d'effet significatif par des comparaisons des groupes deux à deux par le test de Wilcoxon.

Les relations entre les paramètres métaboliques ont été analysées par des tests de Wilcoxon.

2. Résultats

a. Description des indicateurs métaboliques

Profils de NEC

La majorité des individus présente une NEC dans des valeurs usuelles, c'est à dire entre 3 et 3,5 (Figure 18), dont 311/376, soit 83 % en pré-partum et 173 sur 307 (56%), 233 sur 375 (62%) et 226 sur 376 (60%), respectivement pour les visites 7-20, 21-50 et 51-90 j postpartum.

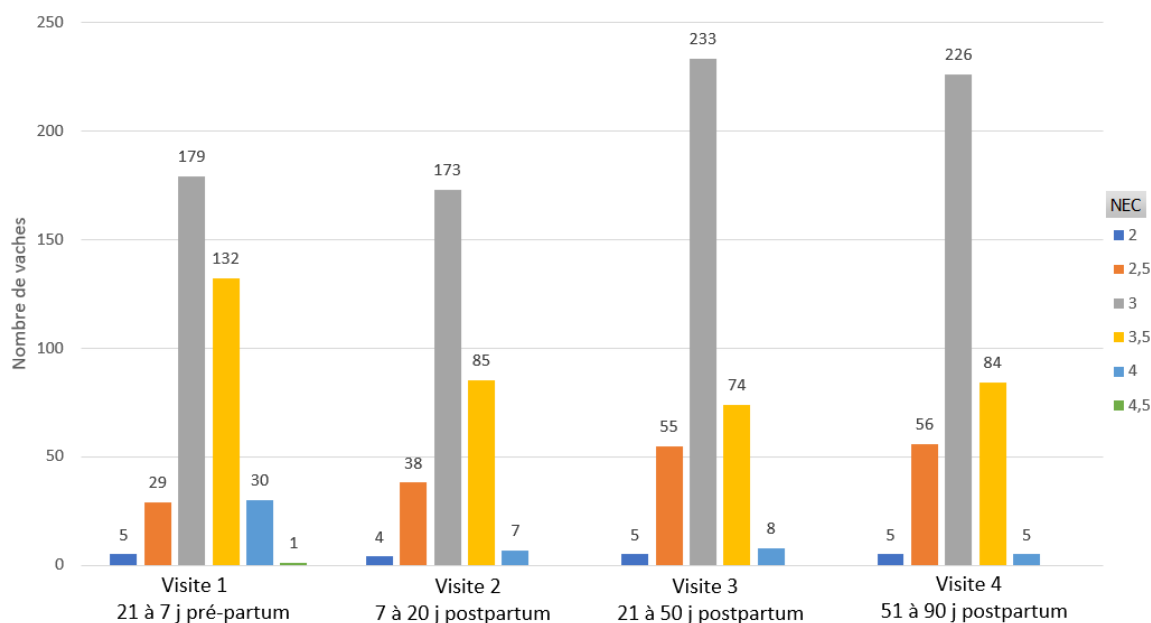


Figure 18 : Répartition des 376 vaches en fonction des NEC et du stade pré- ou postpartum.

Une faible proportion de vaches (entre 9 et 16 %, entre 9 et 16%, suivant le stade pré- ou postpartum) présente une NEC insuffisante (entre 2 et 2,5) et une très faible proportion de femelles (entre 1 et 8%) peut être considérée comme grasse (avec une NEC entre 4 et 4,5). Lors de la visite pré-partum, 8% des vaches ont une NEC > 3,5, contre 1 à 2% pour les visites postpartum, traduisant un amaigrissement de ces femelles après vêlage (Figure 18). Par ailleurs, la proportion de vaches maigres est de 16% à la 3^{ème} et 4^{ème} visite contre 9 à 13% pour les visites autour du vêlage, indiquant un amaigrissement de certaines femelles autour du pic de lactation.

Cependant, la majorité des vaches intégrées dans l'étude restent globalement stables et en bon état corporel au cours du postpartum, ce qui suggère une bonne couverture des besoins énergétiques.

A partir des 4 NEC obtenues lors de 4 visites (-21j à -7j ; +7 à +20 j ; +21j à +50j ; +51j à +90 j), 12 profils d'évolution de la NEC au cours du temps ont été identifiés (Figure 19), (Ponsart

et al., 2006). Cependant, les délais par rapport au vêlage des visites n'ont pas tous été conformes à ce qui avaient été prévu en raison de l'organisation des suivis de reproduction. Ainsi, 376 vaches sur les 390 suivies ont été examinées entre 51 et 90 jours, mais parfois lors de leur 3^{ème} visite. C'est la raison pour laquelle ce délai de 51 à 90 jours, quel que soit le rang de visite, a été pris en compte pour la définition des profils de NEC.

Les variations de NEC comprises entre -0,5 et 0,5 ont été attribuées à la variation interindividuelle de la notation.

Trois critères ont été utilisés pour discriminer les profils de NEC :

- L'évolution globale de la NEC, c'est-à-dire la différence entre la NEC lors de la 4^{ème} visite (51-90 j postpartum, V4) et la visite pré-partum V1 :
 - o les vaches ont repris de l'état : la différence entre la NEC de V4 et NEC de V1 est supérieure ou égale à 1),
 - o les vaches ont maigri (la différence est inférieure ou égale à -1),
 - o les vaches sont restées globalement stables (la différence est comprise entre -0,5 et 0,5).
- Pour les vaches dont la variation de NEC est globalement stable, les variations intermédiaires ont été évaluées :
 - o les vaches ont pris au moins un point d'état puis l'ont reperdu (profil en « pic »),
 - o les vaches ont subi un amaigrissement postpartum puis ont repris de l'état avant la visite V4 (profil en « creux »),
 - o soit aucune variation n'a pu être mise en évidence, c'est-à-dire que l'évolution de la NEC est stable ou présente un profil en dent de scie dont l'amplitude ne dépasse pas 0,5 points.
- Pour toutes les vaches, la définition des profils prend en compte la valeur de la NEC pré-partum : comprise entre 2 et 2,5, comprise entre 3 et 3,5, comprise entre 4 et 4,5.

Les différents profils de NEC et les effectifs des femelles correspondants sont décrits dans la Figure 19 :

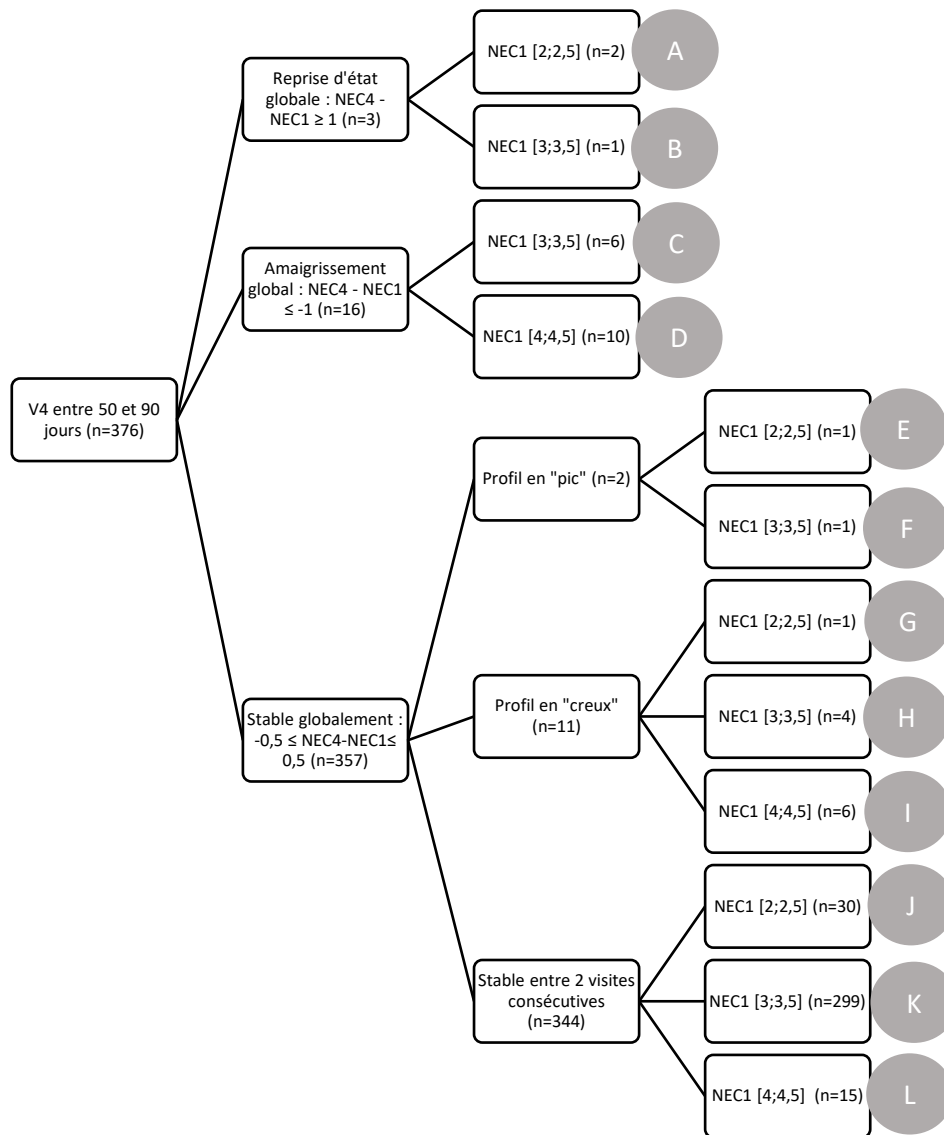


Figure 19 : Analyse des profils de NEC obtenus au cours des 4 visites (21 à 7 j pré-partum, 7-20, 21-50 et 51-90 j postpartum) pour les 376 vaches.

Seulement trois vaches ont globalement pris de l'état sur la période étudiée. Pour 2 d'entre-elles, la NEC avant vêlage était faible (entre 2 et 2,5) et pour la troisième, la NEC avant vêlage était entre 3 et 3,5.

16 vaches ont maigri sur la période, ce qui était attendu. Pour 9 d'entre elles, cette perte d'état est progressive, de 0,5 point entre chaque visite. Les 7 autres vaches ont perdu 1 point entre la première et la deuxième visite, c'est-à-dire dans le postpartum immédiat, puis sont restées stables jusqu'à la fin de l'étude. Parmi ces 16 vaches ayant perdu de l'état sur la période, 10 d'entre-elles présentaient une NEC pré-partum élevée (entre 4 et 4,5) et les 6 autres une première NEC entre 3 et 3,5.

357 vaches ont un état corporel globalement stable sur la période d'étude. Deux femelles ont un profil en « pic », *i.e.* ont pris de l'état après le vêlage puis ont perdu un point de NEC avant la dernière visite. L'une d'elle était maigre lors de la visite pré-partum et l'autre présentait une NEC entre 3 et 3,5. Onze vaches ont eu un profil en « creux » avec une perte d'état, suivie d'une

reprise avant ou lors de la dernière visite. Parmi elles, 4 vaches, dont 1 primipare, présentaient une NEC pré-partum entre 3 et 3,5, 6 une NEC initiale élevée (entre 4 et 4,5) et une seule était maigre lors de la première visite.

Enfin, 344 vaches présentaient un profil stable tout au long de l'étude. 30 vaches, dont 1 primipare, étaient maigres (NEC comprise entre 2 et 2,5), 299 vaches, dont 30 primipares, ont eu une NEC moyenne (entre 3 et 3,5) et 15 présentaient une NEC élevée (entre 4 et 4,5).

Ainsi, les femelles considérées en déficit énergétique étaient relativement peu nombreuses et correspondent essentiellement au profil « perte d'état corporel » (16 femelles) et maigres et stables sur toute la période (n=30).

Les vaches considérées comme « normales » correspondent au profil $NEC > 2,5$ et stables sur la période (n=314). Les autres profils sont plus minoritaires et les groupes pour lesquels l'effectif est inférieur à 5 n'ont pas été pris en compte dans l'analyse de l'interaction entre le déficit énergétique sur les paramètres de reproduction.

Profils des concentrations sanguines de β -hydroxybutyrate au cours du pré- et postpartum

La Figure 20 représente, pour chaque période pré- et postpartum, la répartition des femelles en fonction de leurs concentrations en BOH sanguin.

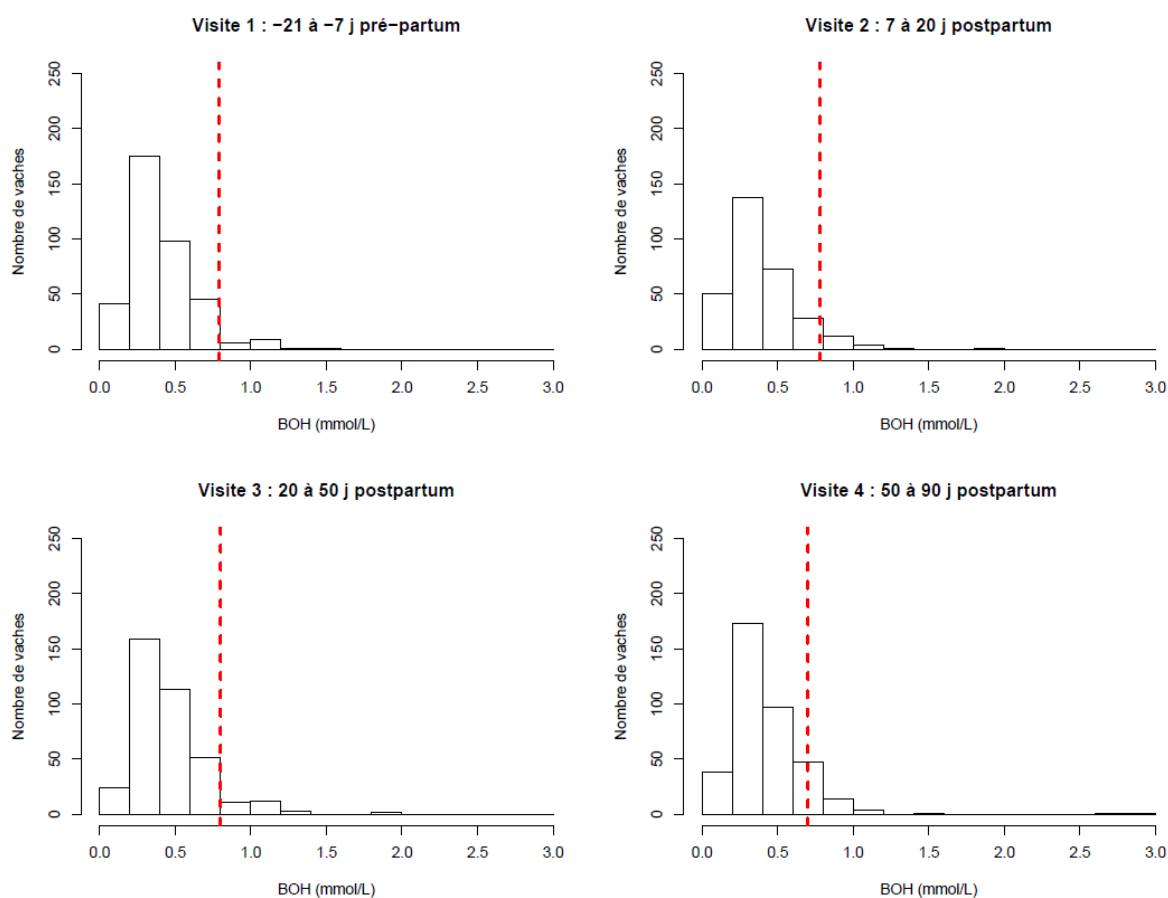


Figure 20 : Répartition des 376 vaches en fonction de leurs concentrations sanguines en BOH pour chaque stade pré- ou postpartum. Le 9ème décile, correspondant à la limite supérieure de BOH pour 90 % des femelles est représenté par le trait pointillé rouge.

La répartition des femelles en fonction de leur concentration en BOH est assez semblable pour tous les stades pré- ou postpartum, avec une médiane à 0,4-0,5 mmol/L. 90 % des femelles ont des concentrations en BOH inférieures à 0,70-0,80 mmol/L (Figure 20).

Les seuils de BOH pré- ou postpartum, indiquant une mobilisation trop importante des réserves corporelles ont été définis pour des vaches allaitantes (Egal, 2013). A partir de ces seuils, les profils de BOH au cours des 4 visites (-21j à -7j pré-partum ; +7 à +20 j ; +21j à +50j ; +51j à +90 j postpartum) ont été classés en trois grands groupes, décrits dans le Tableau 9 :

Groupes	1	2	3
Seuils de BOH	Toutes les valeurs de BOH sanguines sont \leq 0,6 mmol/L	La valeur de BOH maximale est comprise entre]0,6 ; 0,8] mmol/L	Au moins une valeur de BOH sanguine est $>$ 0,8 mmol/L
Nombre de vaches	193	110	73

Tableau 9 : Définition de trois groupes de femelles en fonction de leur profil en BOH au cours de la période pré- ou postpartum et en prenant en compte des seuils indiquant un déficit énergétique chez les femelles allaitantes (Egal, 2013).

Plus de la moitié des vaches incluses dans l'étude présente des concentrations sanguines en BOH relativement basses (\leq 0,6 mmol/L) autour du vêlage ou au pic de lactation, suggérant une faible mobilisation des réserves corporelles. Seulement 19% de la population possède au moins une valeur de BOH au-dessus de 0,8 mmol/L. Ces résultats confortent l'analyse des profils de NEC qui montrent qu'une faible proportion de vaches sont en déficit énergétique.

Profils des concentrations d'AGNE autour du vêlage

La Figure 21 décrit, pour la période pré-partum et la période 7-20 j postpartum, la répartition des femelles en fonction de leurs concentrations sériques en AGNE.

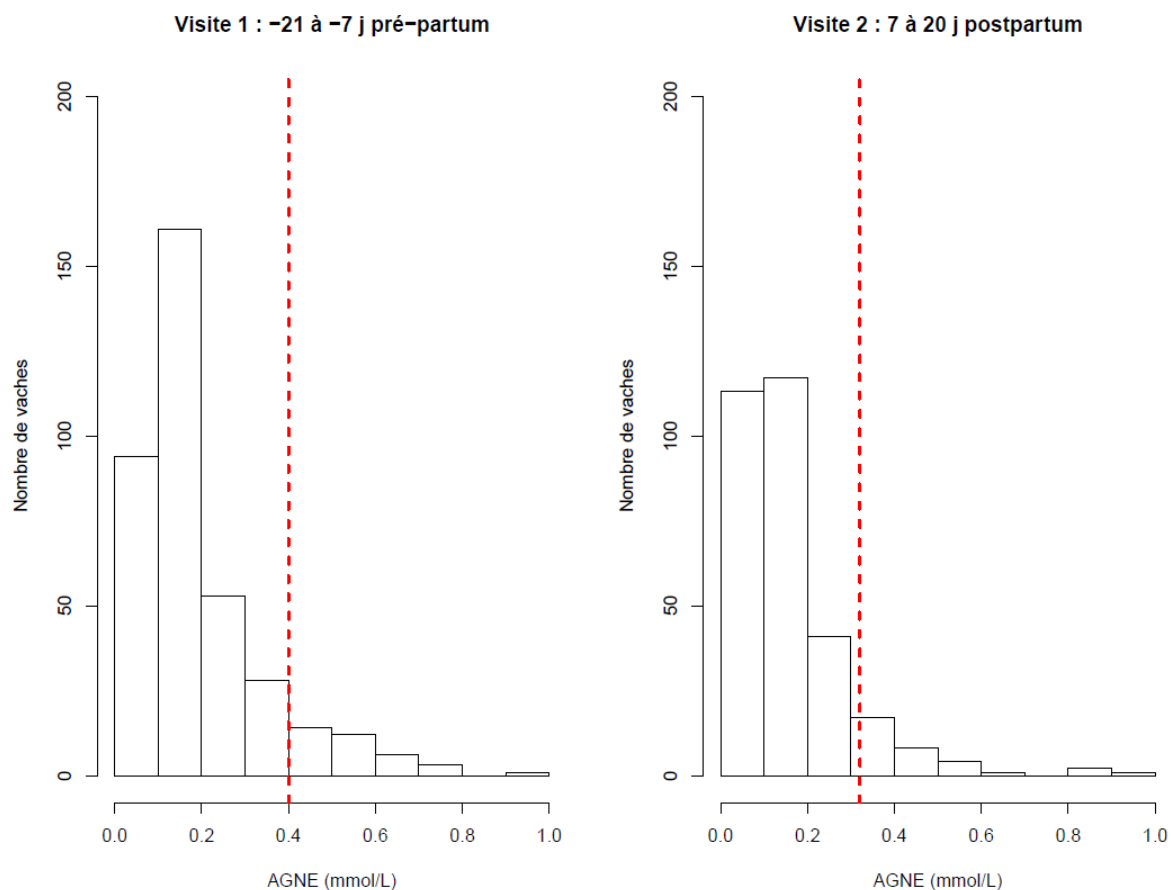


Figure 21 : Répartition des 376 vaches en fonction de leurs concentrations sériques en AGNE en pré-partum et entre 7-20 j postpartum. Le 9ième décile, correspondant à la limite supérieure d'AGNE pour 90 % des femelles est représenté par le trait pointillé rouge.

Les concentrations sériques d'AGNE diminuent significativement après la mise-bas ($p=0,001$, Test de Wilcoxon) avec des médianes de 0,15 et 0,125 mmol/L, respectivement. En outre, 90% des vaches présentent des AGNE inférieures à 0,32 et 0,4 mmol/L, indiquant un faible amaigrissement des femelles pendant cette période peripartum (Figure 21).

Des seuils de concentrations sériques d'AGNE, indicateurs d'un déficit énergétique sur les femelles allaitantes de 0,3 et 0,7 mmol/L, respectivement pour la période pré-partum et dans l'immédiat postpartum ont été déterminés (Chapinal et al., 2011 ; Roberts et al., 2012). Ces seuils ont permis de définir 3 groupes de femelles (Tableau 10). En prenant en compte le seuil pré-partum de 0,3mmol/L, 66 femelles ont une valeur d'AGNE relativement élevée avant vêlage. Avec un seuil d'AGNE de 0,7 mmol/L dans l'immédiat postpartum (Roberts et al., 2012), seulement 3 femelles ont des valeurs supérieures au seuil indiquant un déficit énergétique.

Groupes	1	2	3
Seuils d'AGNE	AGNE 1 \geq 0,3 mmol/L	AGNE 2 \geq 0,7 mmol/L	AGNE 1 et AGNE 2 $<$ 0,3 mmol/L
Effectif (nombre de vaches)	66	3	227

Tableau 10 : Définition de trois groupes de femelles en fonction des concentrations sériques en AGNE au cours de la période peripartum : AGNE1 et AGNE2 correspondent respectivement aux concentrations sériques d'AGNE mesurées 21 à 7 jours avant la mise bas ou 7 à 20 jours après la mise-bas.

La majorité des vaches (227, soit 60%) présentent des concentrations sériques d'AGNE inférieures à 0,3 mmol/L, que ce soit avant ou après la mise-bas, indiquant une bonne couverture des besoins énergétiques. Soixante-neuf femelles (23%) présentent une valeur d'AGNE supérieure à 0,3 mmol/L, soit avant, soit après la mise-bas.

80 vaches ne sont pas classées :

- 63 femelles n'ont qu'une seule valeur d'AGNE, 59 lors de la première visite et 4 lors de la deuxième. Parmi elles, une seule atteint 0,6 mmol/L, les trois autres étant inférieures à 0,2 mmol/L. Pour les 59 autres vaches, les valeurs d'AGNE sont comprises entre 0,05 mmol/L et 0,28 mmol/L.
- 17 vaches ayant 2 mesures d'AGNE ne rentrent pas dans les critères des 3 groupes précédemment définis. En effet, ces vaches ont une valeur d'AGNE sanguin pré-partum inférieure strictement à 0,3 mmol/L et en postpartum comprise entre 0,3 mmol/L et 0,7 mmol/L.

Les seuils d'AGNE définis dans la bibliographie (Chapinal et al., 2011 ; Roberts et al., 2012) ne permettant pas de décrire correctement la population étudiée, des valeurs seuils correspondant au 9^{ième} décile pour chaque stade, soit 0,4 mmol/L en pré-partum (21 à 7 jours) et 0,32 mmol/L en postpartum (7-20 j) ont été choisies arbitrairement pour évaluer l'effet du déficit énergétique des femelles sur les performances de reproduction. Ces groupes sont décrits dans le Tableau 11 :

Groupes AGNE étudiés	AGNE 21 à 7 jours pré-partum		AGNE 7 à 20 jours postpartum	
	AGNE < 0,4 mmol/L	AGNE ≥ 0,4 mmol/L	AGNE < 0,32 mmol/L	AGNE ≥ 0,32 mmol/L
Nombre de vaches	333	39	273	31

Tableau 11 : Définition de quatre groupes de femelles en fonction de leur concentration en AGNE au cours de la période pré-partum (21 à 7 jours avant le vêlage) et postpartum (7 à 20 jours après le vêlage).

Profils des concentrations d'urée postpartum

La Figure 22 décrit, pour la période 21-50 et 51-90 jours postpartum, la répartition des femelles en fonction de leur concentration sérique en urée.

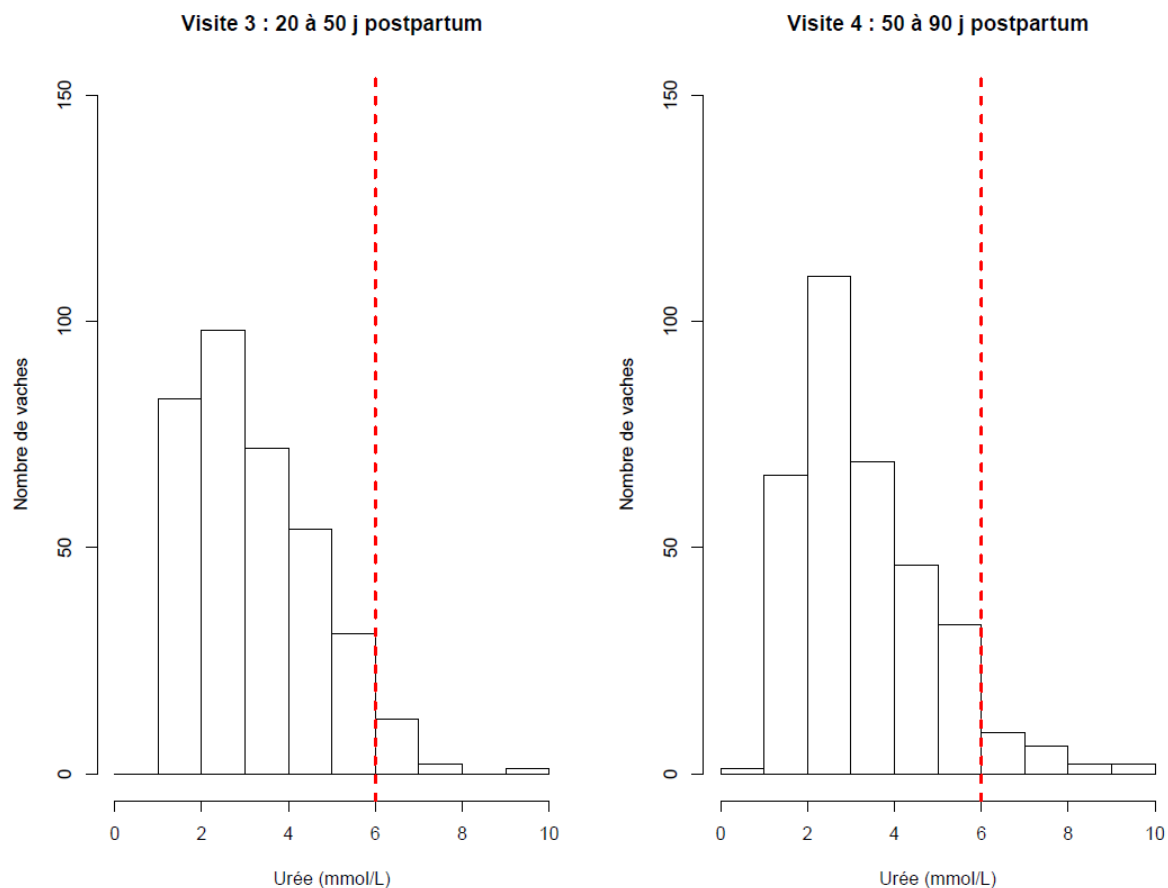


Figure 22 : Répartition des 373 vaches en fonction de leur concentration sérique d'urée pour la période entre 21-50 et 51-90 jours postpartum. Le 9^{ième} décile, correspondant à la limite supérieure des valeurs d'urée pour 90 % des femelles est représenté par la droite rouge.

Les concentrations d'urée ne varient pas en fonction du stade postpartum, avec des médianes de 3 mmol/L. Les valeurs restent relativement faibles par rapport aux valeurs usuelles (entre 2 et 6 mmol/L (Doornenbal et al., 1988)), avec 90% des vaches présentant des urémies inférieures à 6 mmol/L (Figure 22).

L'évaluation de la distribution des concentrations sériques d'urée mesurées 21 à 50 j et 51 à 90 j postpartum a permis de définir 4 groupes en fonction du seuil arbitraire de 5 mmol/L pour évaluer l'effet de l'excès d'azote soluble sur les performances de reproduction (Tableau 12). Vingt-huit % des femelles ont des urémies supérieures à 5 mmol/L, quel que soit le stade postpartum.

Groupes urée étudiés	Vaches dont l'urémie mesurée 21 à 50 jours après le vêlage < 5 mmol/L	Vaches dont l'urémie mesurée 21 à 50 jours après le vêlage ≥ 5 mmol/L	Vaches dont l'urémie mesurée 51 à 90 jours après le vêlage < 5 mmol/L	Vaches dont l'urémie mesurée 51 à 90 jours après le vêlage ≥ 5 mmol/L
Effectifs	253	100	246	98

Tableau 12 : Définition de quatre groupes de femelles en fonction de leur urémie au cours de la période de 21 à 90 jours postpartum.

b. Description des performances de reproduction de la population de femelles allaitantes

La reprise de cyclicité (IVCy)

La Figure 23 décrit la répartition des femelles primipares et multipares en fonction du délai de reprise de la cyclicité.

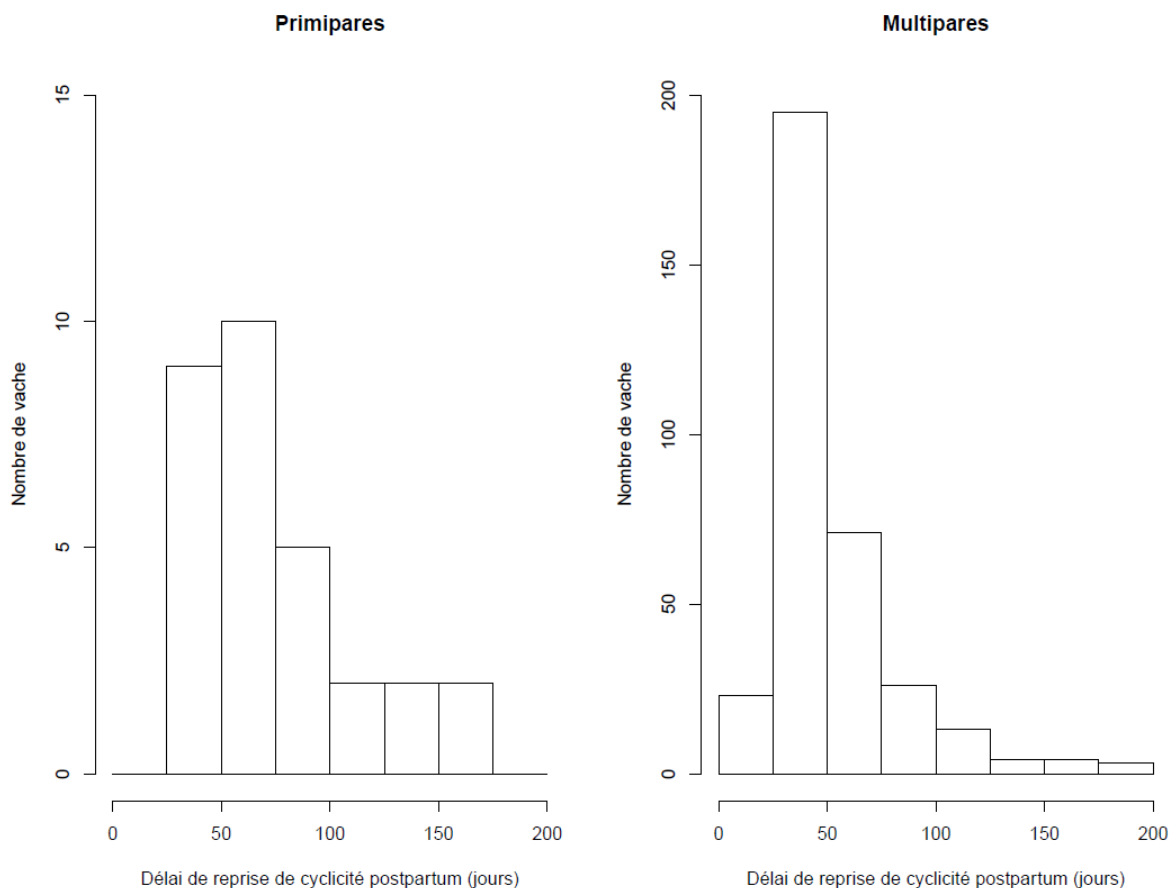


Figure 23 : Répartition des 369 vaches primipares et multipares en fonction de l'intervalle vêlage-reprise de cyclicité.

Pour la majorité des femelles (72%), la reprise de cyclicité est précoce, inférieure à 60 jours. 90% des vaches ont une reprise de cyclicité dans les 91,5 jours postpartum. La médiane est égale à 45 jours, avec une étendue de 20 à 188 jours. Les primipares ont une reprise de cyclicité retardée de 23 jours par rapport aux multipares, avec un IVCy moyen de 75,9 jours versus 52,7 jours ($p < 0,0001$, Test de Wilcoxon).

Pour sept femelles, le délai de reprise de cyclicité n'est pas connu car elles sont sorties de l'élevage pour réforme, mort ou vente avant leur mise à la reproduction. Ces vaches ont toutefois été incluses dans l'analyse des paramètres métaboliques.

Intervalle Vêlage-IA ou saillie fécondante

La Figure 24 décrit la répartition des femelles primipares et multipares en fonction du délai de fécondation.

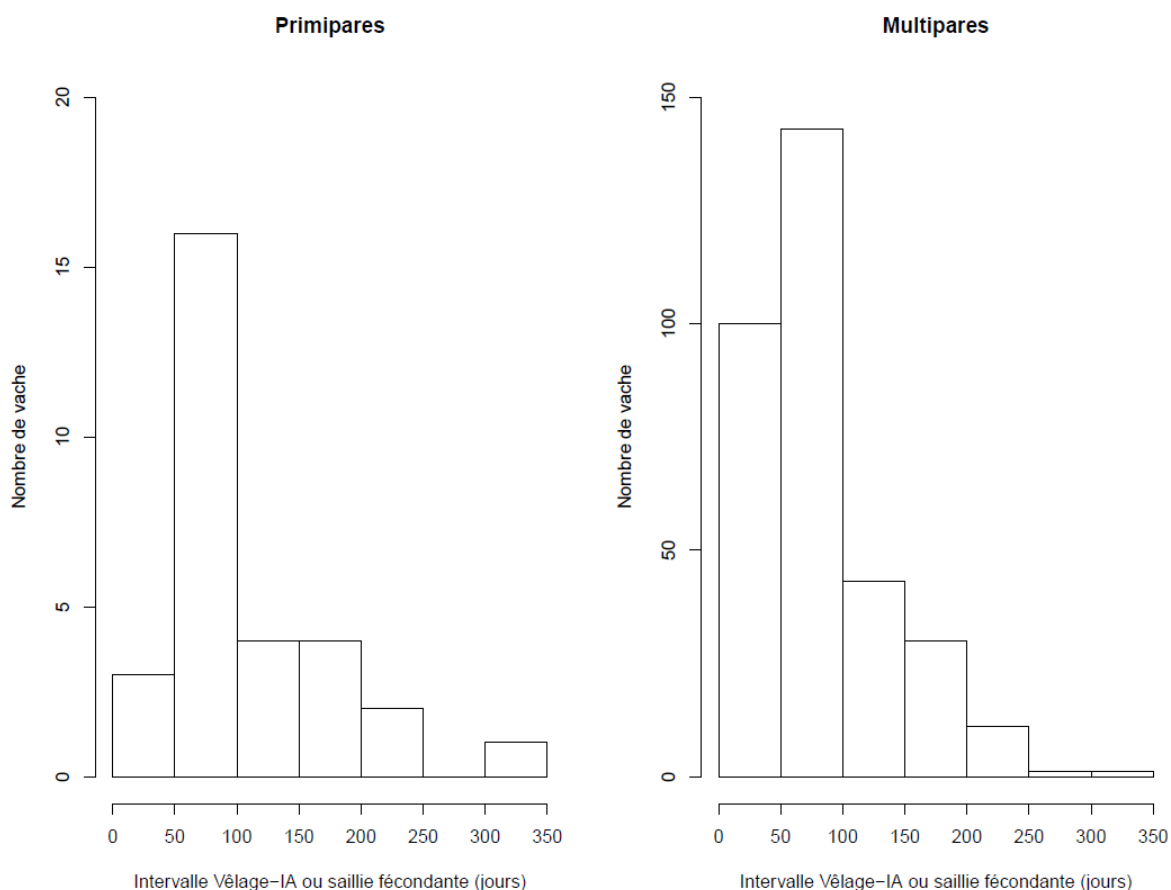


Figure 24 : Répartition des 360 vaches primipares et multipares en fonction de l'intervalle vêlage – insémination/saillie fécondante et du rang de vêlage.

La majorité des vaches (70%) ont un IVIF inférieur à 100 jours. La médiane de l'IV-IA/SF est de 73 jours et l'étendue de 22 à 356 jours. Le pourcentage de vaches fécondées tardivement (IV-IA/SF supérieur à 110 j) est de 24% ce qui montre une bonne fécondité pour la majorité des femelles. Pour les primipares, l'IVIF est significativement plus long ($p < 0,05$, Test de Wilcoxon) de 110,6 jours contre 84,8 jours en moyenne pour les multipares.

Dix-sept vaches n'ont pas de valeur d'IVIF, incluant les 7 femelles sorties de l'élevage avant leur mise à la reproduction et 10 vaches qui sont soit sorties (5 vaches réformées), soit toujours vides à l'issue du suivi (5 vaches). Ces vaches n'ont pas été incluses dans l'analyse des résultats de reproduction, mais ont été incluses dans l'analyse des paramètres métaboliques.

Délai entre la reprise de cyclicité et la fécondation

La Figure 25 représente la répartition des vaches selon l'intervalle entre la reprise de cyclicité et l'insémination/ la saillie fécondante (ICyIF).

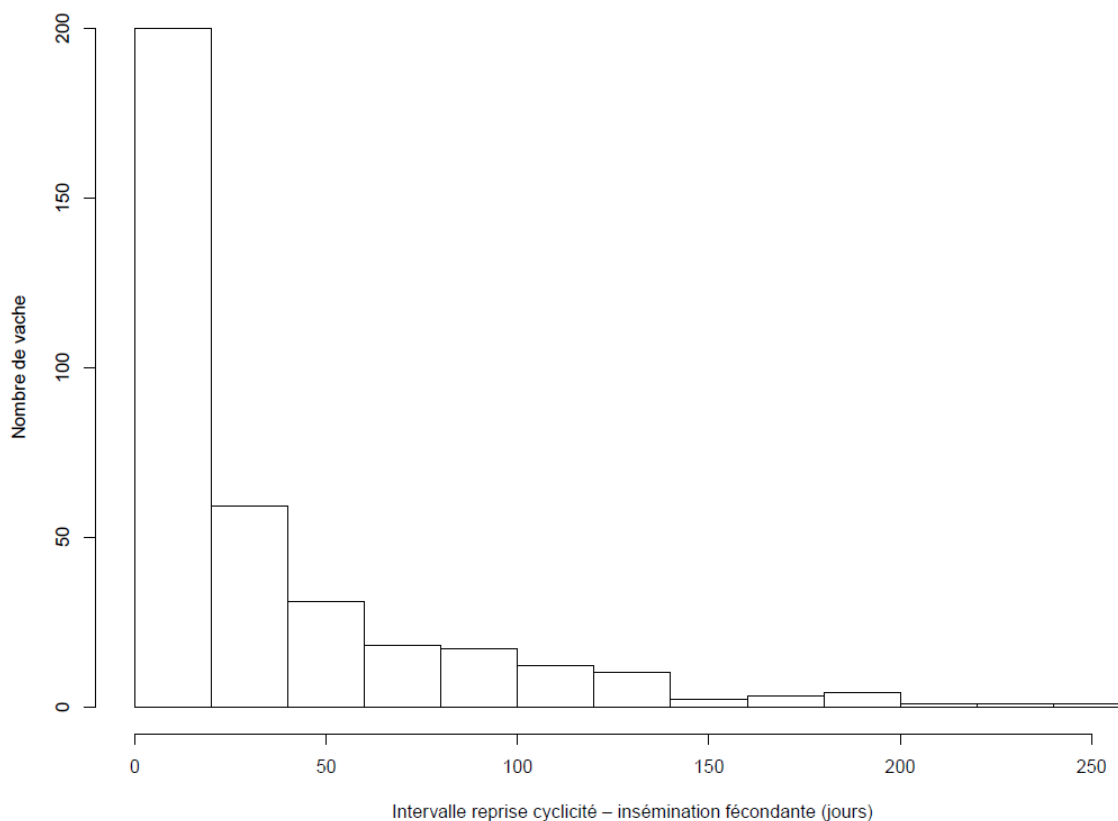


Figure 25 : Répartition des 360 vaches en fonction de l'intervalle reprise cyclicité – insémination/saillie fécondante.

La majorité des vaches a un ICyIF inférieur à 50 jours (76,6%, taux identique pour les primipares et les multipares). De plus, un tiers des femelles a un ICyIF nul, c'est-à-dire que la reprise de cyclicité correspond à l'insémination ou à la saillie fécondante, en raison probablement d'une surveillance insuffisante des chaleurs. Les 23,4% des femelles pour lesquelles l'ICyIF est supérieur à 50 jours peuvent être considérées comme des femelles infertiles si elles sont restées avec le taureau durant toute cette période.

La Figure 26 représente la répartition des vaches en fonction de leur IVV.

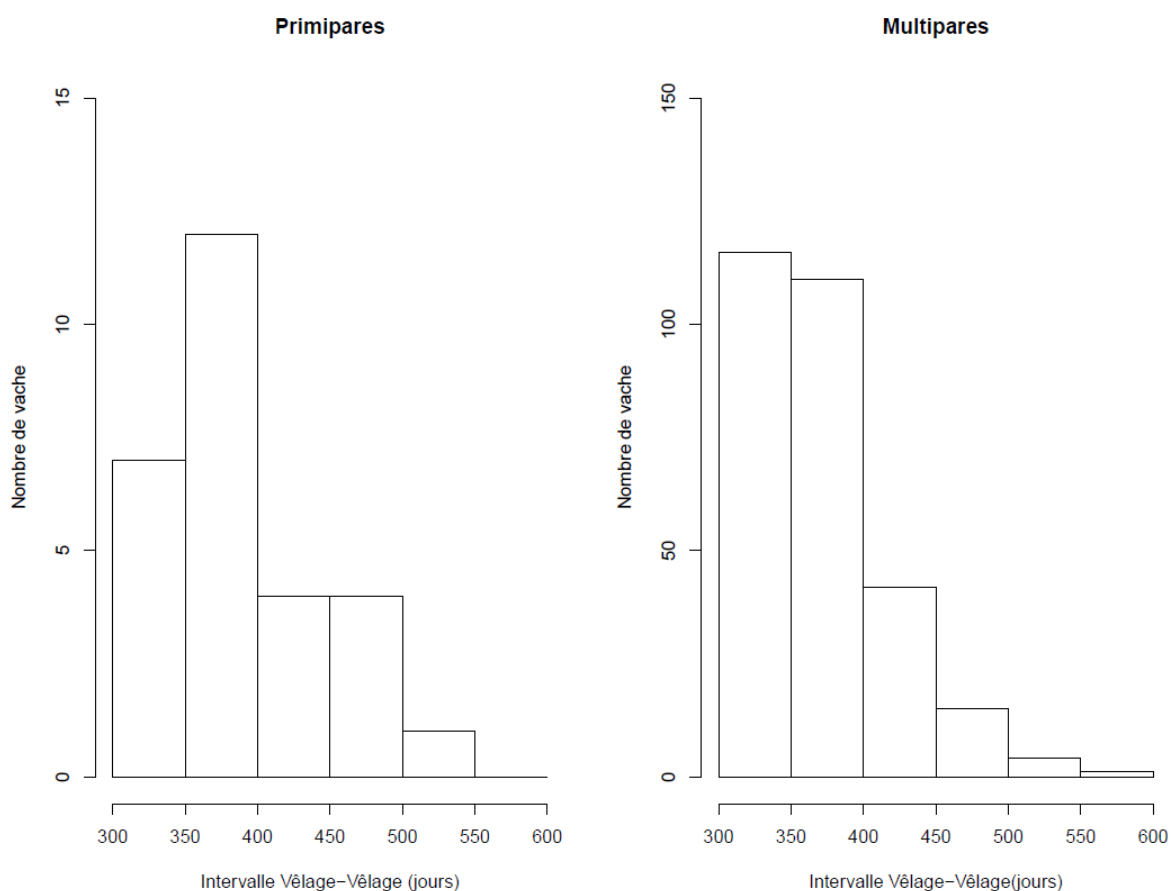


Figure 26 : Répartition des 316 vaches n'ayant pas avorté en fonction de l'intervalle vêlage - vêlage.

L'IVV moyen est de 373,5 jours, soit supérieur de 9 jours à l'intervalle classiquement admis d'un veau par vache et par an. Pour les primipares, cet IVV moyen est de 384 jours contre 359,3 jours des multipares ($p=0,03$, Test de Wilcoxon).

Soixante vaches n'ont pas été incluses dans l'analyse des IVV :

- 17 n'avaient pas été fécondées (*cf.* ci-dessus).
- 6 n'ont pas encore vêlé au moment de l'analyse des résultats (Août 2019),
- 11 femelles confirmées gravides sont sorties de l'élevage pour différentes raisons (mort, réforme ou vente).
- Enfin 26 femelles diagnostiquées gravides ont avorté sur la période d'étude, entre 45 et 120 j pour 19 vaches (soit 73,1% des avortements), entre 120 et 180 jours pour une femelle et après 180 j de gestation pour 6 femelles (23 % des avortements, dont 2 après 260 j). Les causes des avortements n'ont pas été recherchées. Pour une femelle, une origine traumatique (avortement suite à un écornage) semble très probable.

La Figure 27 représente les box plots des délais de reprise de cyclicité en fonction des profils de NEC.

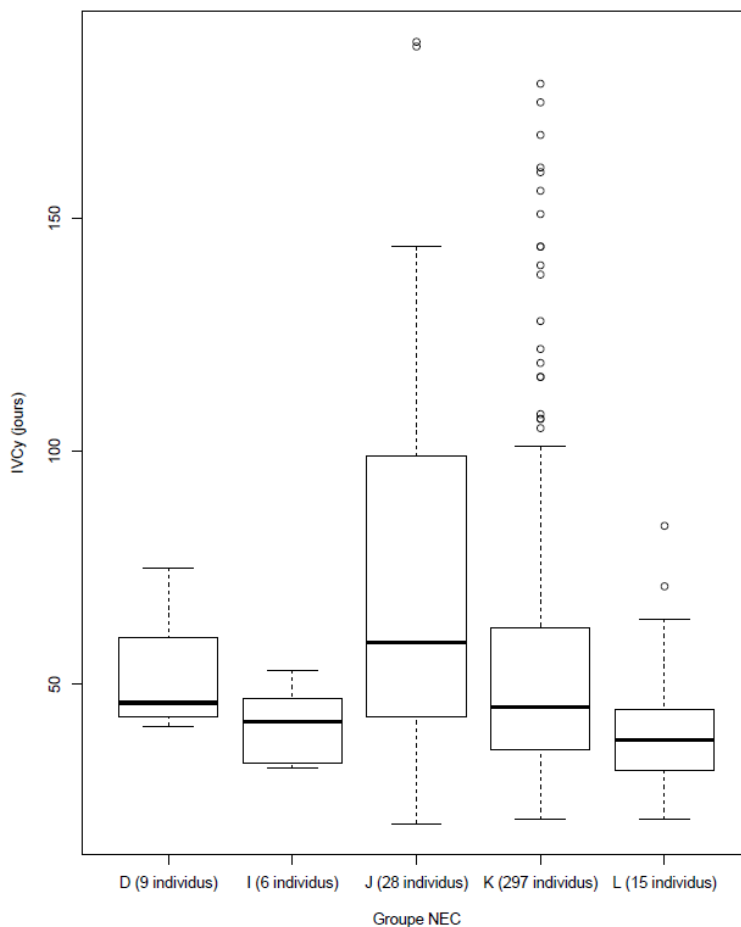


Figure 27 : Répartition des délais de reprise de cyclicité postpartum (IVCy) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

La comparaison du délai de reprise de cyclicité en fonction des profils de NEC n'a pu être réalisée que pour les groupes dont les effectifs sont suffisants ($n \geq 5$) : groupe D (NEC élevée avant vêlage et amaigrissement) et les groupes dont la NEC est stable au cours de la période d'étude (J $n=28$, K $n=297$, L $n=15$). La reprise de cyclicité des vaches qui restent maigres sur toute la période (groupe J : NEC stable à 2,5) est significativement plus tardive que pour les vaches en bon état d'entretien et sans variation d'état corporel durant toute la période correspondant au groupe K (NEC stable à 3,5, $p=0,028$, Test de Wilcoxon) et au groupe L (NEC stable à 4,5, $p=0,012$, Test de Wilcoxon) avec des médianes, respectivement de 59, 45 et 38 jours pour les 3 groupes. De même, les vaches en très bon état avant vêlage et qui maigrissent de plus d'un point d'état corporel sur la période (profil D, $n=9$) ont une reprise d'activité ovarienne retardée comparativement aux femelles dont l'état corporel reste stable à 4-4,5 (profil L) sur toute la période ($p=0,052$, Test de Wilcoxon), avec des médianes respectivement de 46 et 38 jours.

La Figure 28 représente les box plots de l'IVIF en fonction des profils de NEC.

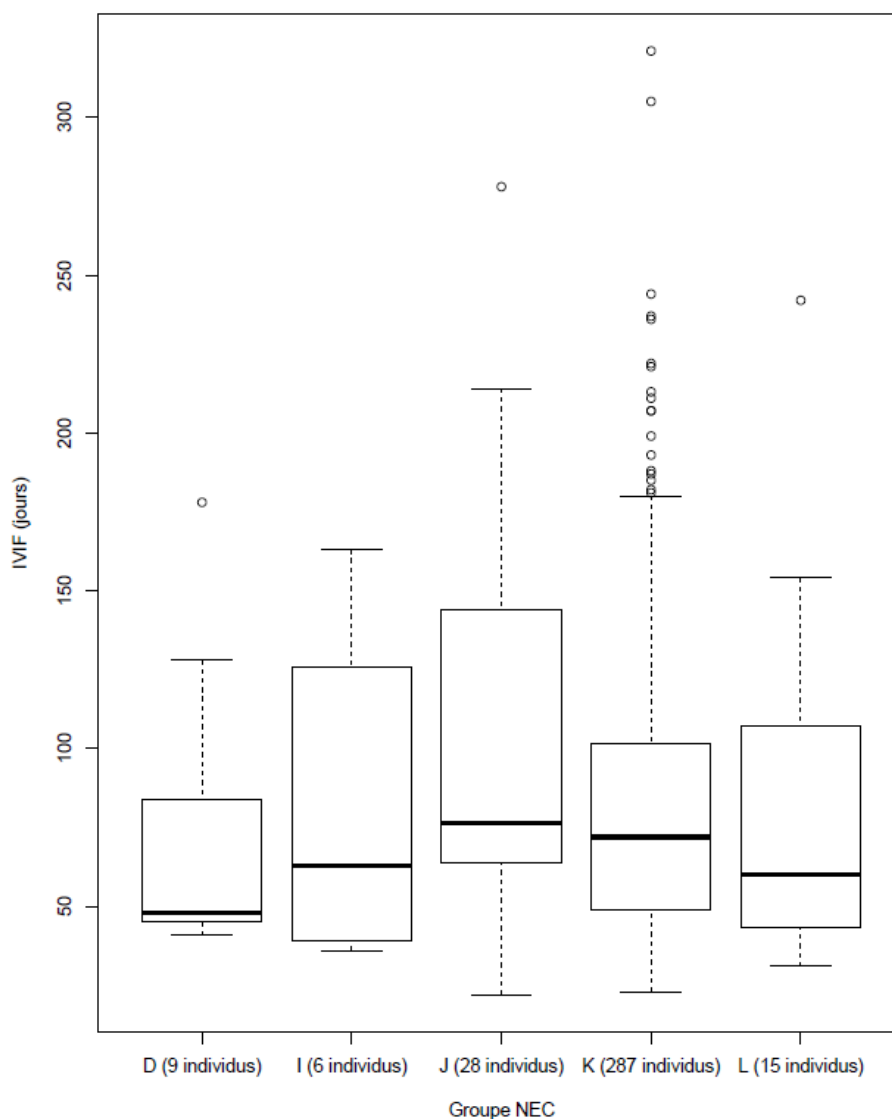


Figure 28 : Répartition des intervalles vêlage – insémination/saillie fécondante (IVIF) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, H profil en creux et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, I profil en creux et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

Seuls les profils de NEC suivants, avec un effectif suffisant ($n \geq 5$) pour permettre une analyse statistique ont été étudiés : D (vaches qui ont maigri et dont la NEC en 1^{ère} visite est entre 4 et 4,5), I (profil en creux avec une NEC pré-partum entre 4 et 4,5), J (vaches dont la NEC est stable entre 2 et 2,5), K (vaches dont la NEC est stable entre 3 et 3,5) et L (vaches dont la NEC est stable entre 4 et 4,5). Les femelles présentant une note d'état corporel faible ($\leq 2,5$) et stable sur la période d'étude (groupe J, $n=28$) ont tendance à présenter un allongement de l'IVIF de 28 jours, comparativement aux femelles dont la NEC était ≥ 4 et qui ont maigri (Groupe D, $n=9$), avec un IVIF, respectivement de 102,6 et 74,9 jours en moyenne ($p= 0,071$, Test de Wilcoxon). De même, les vaches maigres et stables sur toute la période (groupe J) ont tendance à être fécondées plus tardivement que les femelles grasses et stables sur toute la période

correspondant au groupe L (stable à 4,5, n=15, p=0,095, Test de Wilcoxon), avec respectivement des moyennes de 102,6 et 83,0 jours.

La Figure 29 représente les box plots des délais entre la reprise de cyclicité et la fécondation en fonction des profils de NEC.

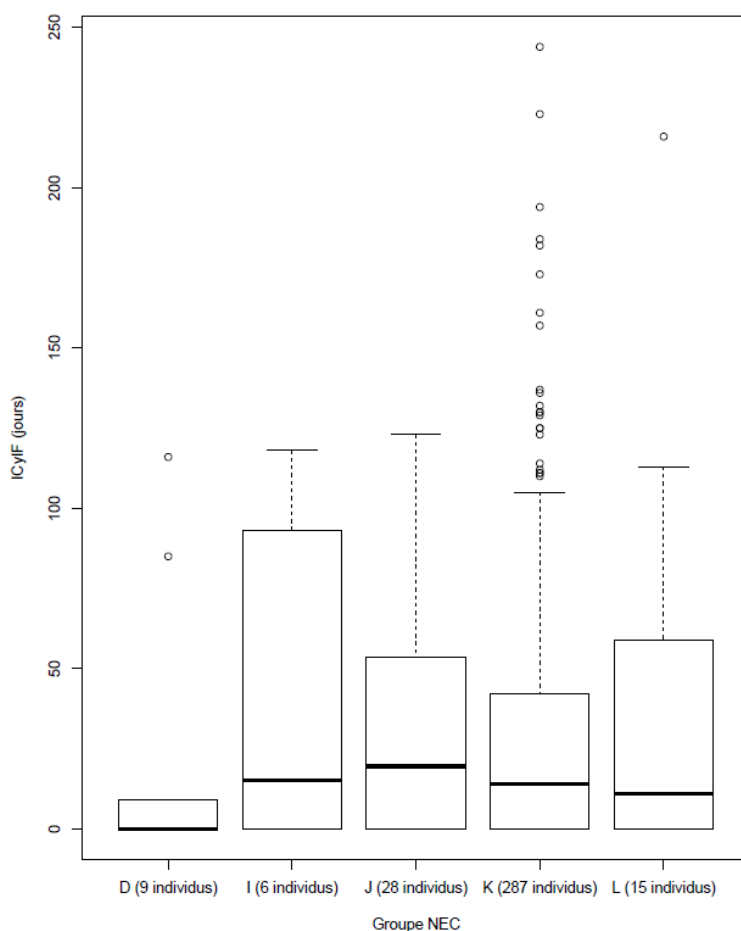


Figure 29 : Répartition des intervalles reprise cyclicité – insémination/saillie fécondante (ICyIF) sous forme de box plots en fonction de 5 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

L'ICyIF est similaire quel que soit le groupe de profils de NEC ($p=0,826$, Test de Kruskal-Wallis), ce qui suggère que les apports énergétiques ont plus d'influence sur la reprise d'activité ovarienne que sur la fertilité.

La Figure 30 représente les box plots de l'intervalle vêlage-vêlage en fonction des profils de NEC.

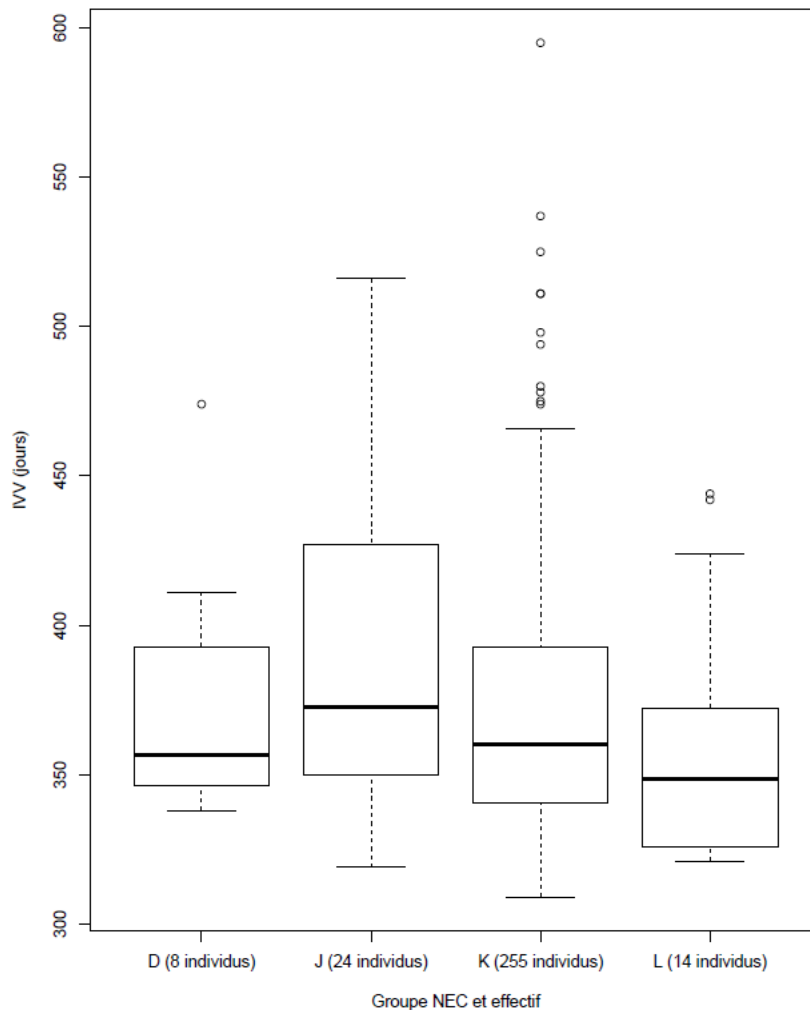


Figure 30 : Répartition des valeurs de l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) sous forme de box plots en fonction de 4 profils de NEC : D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5 (n=9), J NEC stable globalement entre 2 et 2,5 (n=28), K NEC stable globalement entre 3 et 3,5 (n=273), L NEC stable globalement entre 4 et 4,5 (n=14).

Seuls les profils de NEC suivants, avec un effectif suffisant ($n \geq 5$) pour permettre une analyse statistique ont été étudiés : D (vaches qui ont maigri et dont la NEC en 1^{ère} visite est entre 4 et 4,5), J (vaches dont la NEC est stable entre 2 et 2,5), K (vaches dont la NEC est stable entre 3 et 3,5) et L (vaches dont la NEC est stable entre 4 et 4,5). Les vaches présentant un état corporel insuffisant et stable en postpartum (groupe J, n=24) ont tendance à avoir un IVV allongé par rapport aux vaches grasses et stables sur la période (Groupe L, n=14) avec une moyenne respectivement de 388,5 et 361,9 jours (Test de Wilcoxon, $p=0,07$).

Relation entre les marqueurs métaboliques biochimiques et les paramètres de reproduction

BOH

Dans un premier temps, la relation entre les BOH et les performances de reproduction a été évaluée avec les seuils décrits dans la littérature pour des vaches allaitantes (Egal, 2013). Les performances de reproduction (reprise de cyclicité, IV-IF, IVV) ne sont pas différentes entre les trois groupes définis comme suit : toutes les valeurs de BOH sanguines sont $\leq 0,6$ mmol/L ;

BOH maximale est comprise entre]0,6 ; 0,8] mmol/L ; au moins une valeur de BOH sanguine est > 0,8 mmol/L (Tableau 13).

Paramètres de reproduction des vaches (médiane/moyenne ; effectif)	Groupes en fonction des seuils de BOH		
	Toutes les valeurs de BOH sanguines sont $\leq 0,6$ mmol/L	La valeur de BOH maximale est comprise entre]0,6 ; 0,8] mmol/L	Au moins une valeur de BOH sanguine est > 0,8 mmol/L
IVCy	(45/53,8 ;190)	(44/53,4 ;108)	(48/58,5 ;71)
IVIF	(78/89,2 ;185)	(69/83,9 ;104)	(65,5/85,3 ;70)
ICyIF	(18/35,4 ;192)	(11/30,4 ;110)	(5,5/25,8 ;73)
IVV	(362/373,2 ;160)	(329/370,4 ;92)	(359/378,7 ;64)

Tableau 13 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des groupes de valeurs de BOH

Dans un second temps, pour évaluer la capacité de ce marqueur à prédire le plus précocement possible les conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction, le 9^{ième} décile pour le stade pré-partum (0,79 mmol/L) a été utilisé comme seuil arbitraire pour déterminer l'effet du déficit énergétique sur les performances de reproduction (*cf. infra*, chapitre II. 2. a, Tableau 14). Ce choix est également justifié par la relation entre le profil de NEC et les valeurs pré-partum de BOH (*cf. chapitre II. 2. c*) BOH).

Paramètres de reproduction des vaches (moyenne/médiane ; effectif)	Groupes en fonction des valeurs de BOH sanguins pré-partum	
	< 0,79 mmol/L	$\geq 0,79$ mmol/L
IVCy	44,5/52,9 ; 334	52/70,4 ; 35
IVIF	71/85,5 ; 325	86,5/100,4 ; 34
ICyIF	14/32,4 ; 337	13,5/29,3 ; 38
IVV	359/372 ; 308	370/388,7 ; 34

Tableau 14 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs de BOH, correspondant au 90^{ème} percentile à 7-21 j pré-partum.

Les valeurs seuil de BOH sanguines, correspondant au 9^{ième} quartile pour chacune des périodes (7-21 j pré-partum, 7-20, 21-50, 51-90 j postpartum) ont été utilisées pour définir les femelles qui présentaient une mobilisation de leurs réserves corporelles et pour évaluer la précocité de ce marqueur. Les vaches présentant des valeurs en BOH sanguins supérieurs à 0,79 mmol/L avant la mise bas (n=38/376) ont une reprise de cyclicité plus tardive, médiane de 52 jours versus 44,5 jours (p=0,020, Test de Wilcoxon).

L'ensemble de ces résultats montre que des concentrations de BOH sanguines supérieures à 0,8 mmol/L en pré-partum, évocatrices d'une mobilisation des réserves corporelles importantes, entraînent une dégradation de la fécondité.

AGNE

Le Tableau 15 présente une comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV) des vaches en fonction du seuil d'AGNE, correspondant au 90^{ème} percentile

pour chaque groupe de femelles à deux stades peripartum (7-21 j pré-partum, 7-20 j postpartum).

Paramètres de reproduction des vaches (moyenne/médiane ; effectif)	Groupes en fonction des valeurs d'AGNE			
	Valeurs pré-partum des AGNE sanguins < 0,4 mmol/L	Valeurs pré-partum des AGNE sanguins ≥ 0,4 mmol/L	Valeurs postpartum des AGNE sanguins < 0,32 mmol/L	Valeurs postpartum des AGNE sanguins ≥ 0,32 mmol/L
IVCy	45/53,5 ; 328	47/66,5 ; 37	45/51,9 ; 269	49/69 ; 30
IVIF	71/85,1 ; 320	88/106,2 ; 35	71,5/85,8 ; 262	83,5/95,9 ; 30
ICyIF	13,5/31,6 ; 333	17/37,9 ; 39	16,5/33,7 ; 273	18,5/26,9 ; 31
IVV	359/373,5 ; 306	369/377,4 ; 32	360/373,2 ; 253	375/385,9 ; 28

Tableau 15 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs d'AGNE, correspondant au 90^{ème} percentile pour chaque groupe de femelles à deux stades peripartum : 7-21 j pré-partum, 7-20 j postpartum.

Les femelles qui présentent une valeur d'AGNE au-dessus du seuil de 0,4 mmol/L en pré-partum (n=33/372), ont tendance à reprendre leur cyclicité plus tardivement, avec un IVCy médian de 47 jours versus 45 jours (p=0,095, Test de Wilcoxon), il en résulte un IVIF allongé de 11 jours, en moyenne de 106,2 jours versus 85,1 jours (p= 0,045, Test de Wilcoxon).

Les femelles qui présentent une valeur d'AGNE au-dessus du seuil de 0,32 mmol/L lors de la 2^{ème} visite (n=31/304), ont tendance à reprendre leur cyclicité plus tardivement, avec un IVCy médian de 49 versus 45 jours (p=0,069, Test de Wilcoxon). Il en résulte une tendance à un allongement de l'IVV moyen, de 385,9 jours versus 373,2 jours (p=0,088, Test de Wilcoxon). L'ensemble de ces résultats montre que des concentrations d'AGNE sériques supérieures à 0,32 ou 0,4 mmol/L, en fonction du stade physiologique, évocatrices d'une mobilisation des réserves corporelles importantes, entraîne une dégradation de la fécondité.

Urée

Le Tableau 16 présente une comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV) des vaches en fonction du seuil d'urée à deux stades postpartum autour de la mise à la reproduction (21-50 j et 51-90 jours postpartum).

Paramètres de reproduction des vaches (moyenne/médiane ; effectif)	Groupes en fonction des valeurs d'urémie			
	Urémies mesurées 21 à 50 j postpartum < 5 mmol/L	Urémies mesurées 21 à 50 j postpartum ≥ 5 mmol/L	Urémies mesurées 51 à 90 j postpartum < 5 mmol/L	Urémies mesurées 51 à 90 j postpartum ≥ 5 mmol/L
IVCy	45/53,7 ; 250	47/55,9 ; 97	44/54,2 ; 242	46/52,7 ; 95
IVIF	66/84,5 ; 244	80/94,3 ; 93	72,5/89,2 ; 238	68/79,9 ; 91
ICyIF	9,5/30,7 ; 253	23/37,9 ; 99	15,5/34,7 ; 245	11/27,2 ; 97
IVV	354,5/369,3 ; 231	374/384,1 ; 90	361/375 ; 225	356/367,7 ; 87

Tableau 16 : Comparaison des paramètres de reproduction (reprise de cyclicité, IVIF, ICyIF et IVV, médiane/moyenne et effectif) des vaches en fonction des valeurs d'urée, correspondant au 90^{ème} percentile pour les femelles à deux stades postpartum autour de la mise à la reproduction : 21-50 j postpartum et 51-90 jours postpartum.

Les vaches dont les valeurs d'urée sont supérieures au seuil de 5 mmol/L présentent une dégradation des paramètres de reproduction, avec un allongement de :

- L'IVIF, de 84,6 à 94,3 jours en moyenne ($p=0,004$, Test de Wilcoxon)
- L'ICyIF, de 30,7 à 37,9 jours en moyenne ($p=0,020$, Test de Wilcoxon)
- L'IVV, de 369,2 à 384 jours en moyenne ($p=0,002$, Test de Wilcoxon).

c. Relation entre les profils de NEC et les indicateurs métaboliques biochimiques

BOH

La Figure 31 représente les box plots des concentrations sanguines de BOH des femelles en pré-partum en fonction des profils de NEC. Seules les valeurs pré-partum ont été présentées car, les valeurs postpartum de BOH ne sont pas différentes en fonction des profils de NEC.

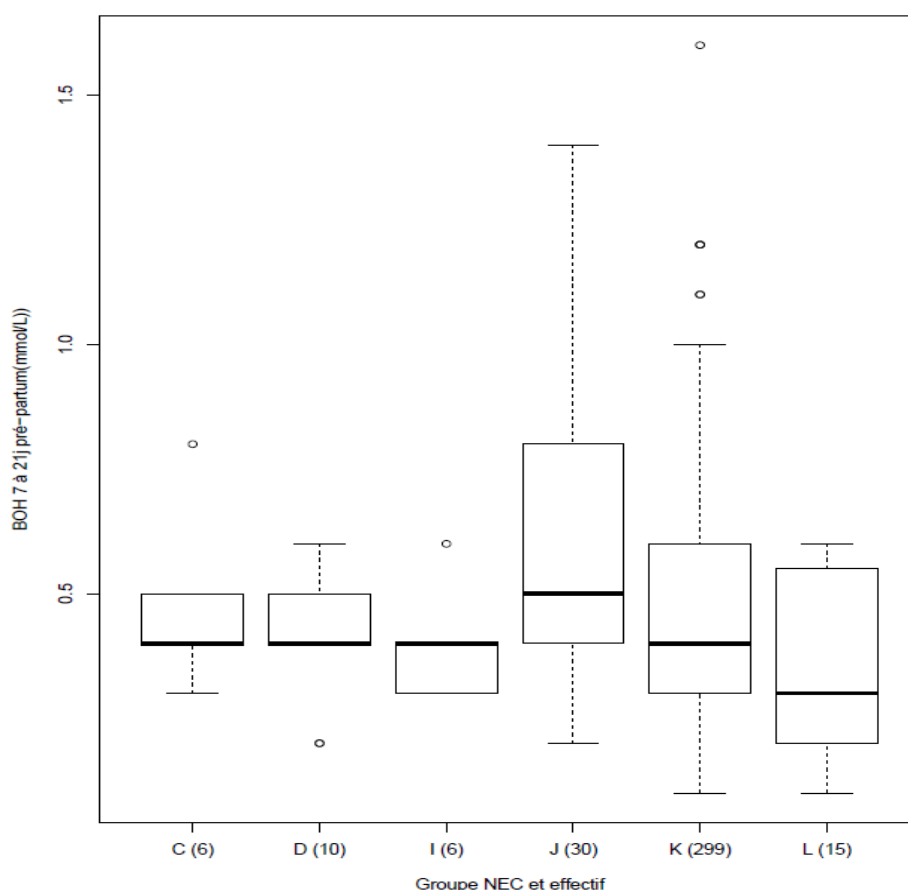


Figure 31 : Répartition des valeurs de BOH lors de la 1^{ère} visite (21 à 7 jours avant le vêlage) en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

Les groupes de femelles en bon état corporel ou grasses et qui maigrissent sur la période (profils C et D, $n=6$ et 10) et de femelles grasses avec un profil en creux (groupe I, $n=6$) ont des effectifs très limités. La médiane de leur BOH est proche de 0,4 mmol/L.

Pour les femelles avec des profils de NEC stables sur la période, plus les vaches sont en état en pré-partum, plus la valeur moyenne de BOH sanguin est faible lors de la première visite,

respectivement de 0,61 mmol/L, 0,47 mmol/L et 0,36 mmol/L, pour les groupes J (vaches stables entre une NEC de 2 et 2,5, n=30), K (vaches stables entre 3 et 3,5, n=299) et L (vaches stables entre 4 et 4,5, n=15), $p=0,040$ (J-K), $0,009$ (J-L) et $0,040$ (K-L), Test de Wilcoxon. Cette relation indique une mobilisation des réserves corporelles en fin de gestation chez les femelles maigres.

AGNE

La Figure 32 représente les box plots des concentrations sériques d'AGNE des femelles entre 7 et 20 jours postpartum en fonction des profils de NEC. Seules les valeurs d'AGNE mesurées 7-20 jours postpartum ont été présentées car les valeurs pré-partum ne sont pas différentes en fonction des profils de NEC.

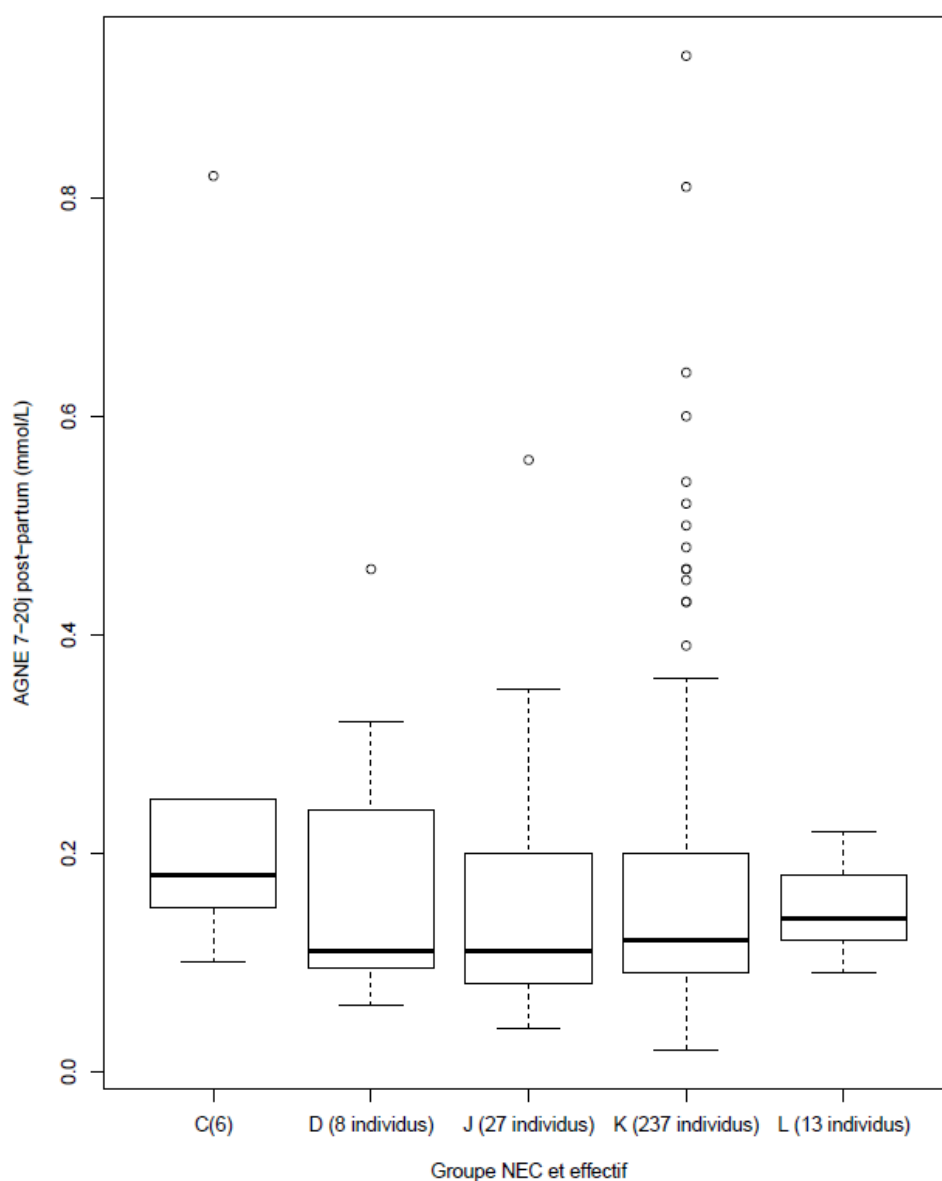


Figure 32 : Répartition des concentrations sériques d'AGNE (mmol/L) des femelles 7 à 20 jours postpartum en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC1 entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

Les vaches qui ont maigri avec une NEC pré-partum entre 3 et 3,5 (profil C, n=6) ont tendance

à présenter des valeurs moyennes en AGNE 7 à 20 jours postpartum plus élevées (0,28 mmol/L) que celles du groupe J (vaches avec des NEC stables entre 2 et 2,5, n=27) avec une moyenne de 0,157 mmol/L (p=0,097, Test de Wilcoxon), et celles du groupe K (vaches stables entre 3 et 3,5, n=237) avec une moyenne de 0,165 mmol/L (p=0,094, Test de Wilcoxon). Ces données indiquent que ce seuil d'AGNE postpartum reflète bien la perte de poids des femelles.

Urée

Une augmentation de l'urémie pourrait être liée à un excès de protéines dégradables ou alors à un niveau énergétique trop faible.

La Figure 33 représente les box plots des concentrations sériques d'urée des femelles entre 51 et 90 jours postpartum en fonction des profils de NEC. Seules les valeurs d'urémie entre 51 et 90 jours postpartum ont été présentées car les valeurs d'urémie 21-50 jours postpartum ne sont pas différentes en fonction des profils de NEC.

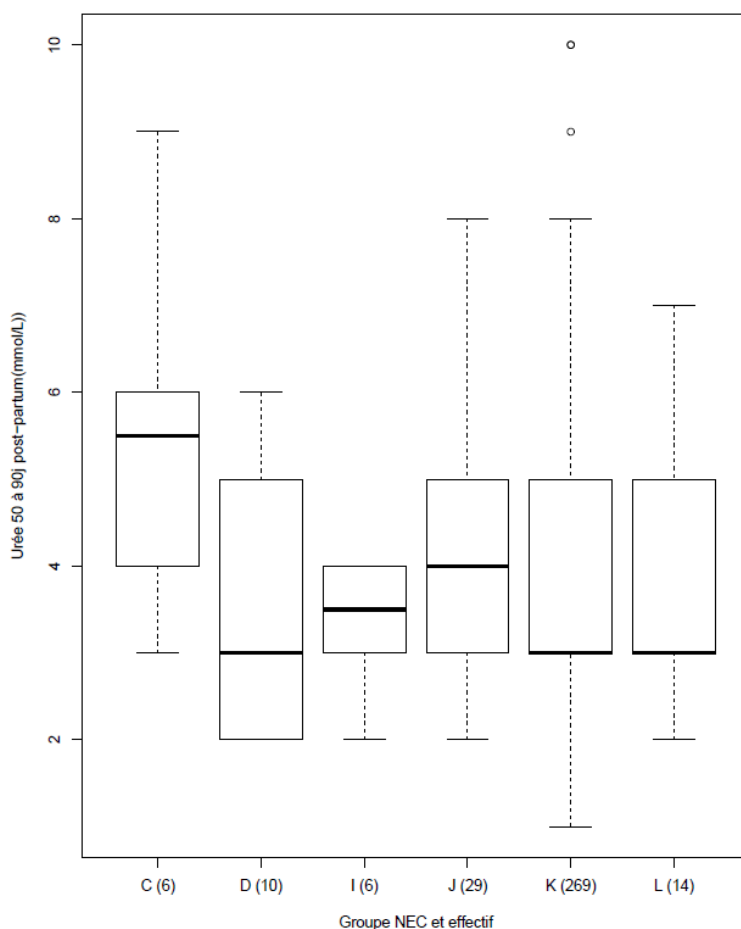


Figure 33 : Répartition des valeurs d'urémies des femelles entre 50 et 90 jours postpartum en fonction des profils de NEC : C amaigrissement global et NEC pré-partum entre 3 et 3,5, D amaigrissement global et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, I profil en creux et NEC1 entre 4 et 4,5, J NEC stable globalement entre 2 et 2,5, K NEC stable globalement entre 3 et 3,5, L NEC stable globalement entre 4 et 4,5.

Les vaches du groupe C, qui ont maigri avec une NEC pré-partum entre 3 et 3,5 (n=6), présentent des urémies plus élevées lors de la 4^{ème} visite (51 et 90 jours après le vêlage) avec une moyenne de 5,5 mmol/L, en comparaison de celles des vaches :

- du groupe I (profil de NEC en creux et NEC pré-partum entre 4 et 4,5, n=6), avec une urémie moyenne de 3,3 mmol/L (p=0,048, Test de Wilcoxon),
- du groupe K (NEC stable autour de 3 et 3,5, n=269), avec une urémie moyenne de 3,8 mmol/L (p=0,025, Test de Wilcoxon),
- du groupe L (NEC stable autour de 4 et 4,5, n=14) avec une urémie moyenne de 3,8 mmol/L (p=0,054, Test de Wilcoxon).

Ces résultats semblent indiquer que sur les vaches du groupe C, l'augmentation de l'urémie pourrait être liée à un déficit énergétique.

d. Synthèse de la relation entre les différents marqueurs métaboliques et les paramètres de reproduction

	Reprise de cyclicité (IVCy) (Médiane, effectif, différence, p-value)	Intervalle vêlage – insémination fécondante (IVIF) (Moyenne, effectif, différence, p-value)	Intervalle reprise de cyclicité – insémination fécondante (ICyIF) (Moyenne, effectif, différence, p-value)	Intervalle vêlage – vêlage (IVV) (Moyenne, effectif, différence, p-value)
Effet des profils de NEC sur les paramètres de reproduction	Profil J (NEC stable à 2- 2,5) 59j n=28 Profil K (NEC stable à 3- 3,5) 45j n=297 + 14 jours**	Profil J (NEC stable à 2-2,5) 102,6j n=28 Profil D (amaigrissement total et NEC pré-partum de 4- 4,5) 74,9j n=9 + 28 jours*	NS	Profil J (NEC stable à 2-2,5) 388,5j n=24 Profil L (NEC stable à 4-4,5) 361,9j n=14 + 27 jours*
	Profil J (NEC stable à 2- 2,5) 59j n=28 Profil L (NEC stable à 4- 4,5) 38j n=15 + 21 jours**			
	Profil D (amaigrissement et NEC pré-partum de 4-4,5) 46j n=9 Profil L (NEC stable à 4- 4,5) 38j n=15 + 8 jours*	Profil J (NEC stable à 2-2,5) 102,6j n=28 Profil L (NEC stable à 4-4,5) 83j n=15 + 20 jours*		
	Profil K (NEC stable à 3- 3,5) 45j n=297 Profil L (NEC stable à 4- 4,5) 38j n=15 + 7 jours*			

Tableau 17 : Récapitulatif des effets des profils de NEC sur les paramètres de reproduction. Les différences en jours des médianes ou moyennes des paramètres de fécondité sont indiquées pour les groupes (n≥5), et p-values (* : 0,1 < p < 0,05 ; ** : p < 0,05).

Paramètres métaboliques	Seuils (effectifs)	Reprise de cyclicité (IVCy) (Médiane, différence, p-value)	Intervalle vêlage – insémination fécondante (IVIF) (Moyenne, différence, p-value)	Intervalle reprise de cyclicité – insémination fécondante (ICyIF) (Moyenne, différence, p-value)	Intervalle vêlage – vêlage (IVV) (Moyenne, différence, p-value)
Effet des BOH sur les paramètres de reproduction	Seuil pré-partum <0,79 mmol/L (338) ≥0,79 mmol/L (38)	44,5j 52j + 7,5 jours**	NS	NS	NS
Effet des AGNE sur les paramètres de reproduction	Seuil pré-partum <0,4 mmol/L (333) ≥0,4 mmol/L (39)	45j 47j + 2 jours*	85,3j 106,2j + 21 jours**	NS	NS
	Seuil 7-20 jours postpartum <0,32 mmol/L (273) ≥0,32 mmol/L (31)	45j 49j + 4 jours*	NS		373j 387,6j + 13 jours*
Effet de l'urée sur les paramètres de reproduction	Seuil 21-50 jours postpartum <5 mmol/L (253) ≥5 mmol/L (100)	NS	84j 94,3j + 10 jours**	30,7j 37,9j + 7 jours**	396,2j 384j + 15 jours**

Tableau 16 : Récapitulatif de la relation entre les paramètres métaboliques biochimiques (BOH, AGNE et urémie) et les paramètres de reproduction. Les différences en jours des médianes ou moyennes des paramètres de fécondité sont indiquées pour les groupes (n≥5), et p-values (* : 0,1 < p < 0,05 ; ** : p < 0,05).

	Marqueur	Populations comparées et leur effectif	Moyenne du marqueur (mmol/L)	Variation (mmol/L)	p-value
Relation entre les profils de NEC et les indicateurs métaboliques biochimiques	BOH 1 ^{ière} visite (21 à 7 jours avant le vêlage)	Profil J (NEC stable à 2-2,5) n=30	0,61	+ 0,14 mmol/L	**
		Profil K (NEC stable à 3-3,5) n=299	0,47		
		Profil J (NEC stable à 2-2,5) n=30	0,61	+ 0,25 mmol/L	**
		Profil L (NEC stable à 4-4,5) n=15	0,36		
		Profil K (NEC stable à 3-3,5) n=299	0,47	+ 0,11 mmol/L	**
		Profil L (NEC stable à 4-4,5) n=15	0,36		
	AGNE 2 ^{ième} visite (7 à 20 jours postpartum)	Profil C (amaigrissement NEC1 3-3,5) n=6	0,28	+ 0,12 mmol/L	*
		Profil J (NEC stable à 2-2,5) n=27	0,16		
		Profil C (amaigrissement NEC1 3-3,5) n=6	0,28	+ 0,11 mmol/L	*
		Profil K (NEC stable à 3-3,5) n=237	0,17		
	Urée 4 ^{ième} visite (51 à 90 jours postpartum)	Profil C (amaigrissement NEC1 3-3,5) n=6	5,5	+ 2,2 mmol/L	**
		Profil I (en creux NEC1 à 4-4,5) n=6	3,3		
		Profil C (amaigrissement NEC1 3-3,5) n=6	5,5	+ 1,7 mmol/L	**
		Profil K (NEC stable à 3-3,5) n=269	3,8		
		Profil C (amaigrissement NEC1 3,5) n=6	5,5	+ 1,7 mmol/L	*
		Profil L (NEC stable à 4,5) n=14	3,8		

Tableau 18 : Récapitulatif des relations observées entre les différents marqueurs métaboliques (profils de NEC, BOH, AGNE et urée). Les variations en jours des moyennes des paramètres de fécondité sont indiquées pour les groupes (n≥5). Les différences des valeurs des indicateurs métaboliques sont indiquées et p-values (* : 0,1 < p < 0,05 ; ** : p < 0,05).

3. Discussion

Cette étude a permis de montrer que les femelles en état corporel insuffisant présentaient une reprise de cyclicité retardée de 19 à 30 jours par rapport aux femelles en bon état corporel et stables sur la période. Il en résulte un allongement de l'intervalle V-IAF de 20 jours.

L'étude a été réalisée dans des conditions terrain sur 21 élevages situés dans le bassin du Ségala et sur une population de 390 femelles essentiellement de race Limousine et Blonde d'Aquitaine, qui ont vêlé entre septembre 2017 et avril 2018, soit essentiellement durant la période hivernale, pour faciliter le suivi de reproduction des femelles.

Qualité des données

Plusieurs points ont limité la qualité des données :

Le respect des intervalles de visite

Les visites de suivis de reproduction de la clinique vétérinaire sont programmées tous les mois environ. Ainsi, le rythme des visites n'a pas permis de respecter systématiquement les intervalles prédéfinis par le protocole de l'étude, de 2 semaines (pré-partum et immédiat postpartum) à 4-5 semaines (autour de la mise à la reproduction). En outre, pour la visite pré-partum, il peut y avoir un écart entre la date de vêlage estimée et la date réelle de vêlage, en raison des variations physiologiques de la durée de gestation et des imprécisions sur la date de conception, qui est évaluée généralement lors du diagnostic de gestation réalisé par le vétérinaire. Ainsi, pour la visite pré-partum, seulement 62% des femelles ont été réellement examinées entre 21 et 7 jours avant la mise-bas. Cette variation dans les délais d'examen par rapport au vêlage engendre un biais dans la comparaison des données et leur évolution temporelle, notamment pour les indicateurs métaboliques comme les BOH et les AGNE (Adewuyi et al., 2005). En effet, sur la période pré-partum, une augmentation des valeurs des AGNE est observée quand on se rapproche de la date du vêlage, avec des valeurs moyennes d'AGNE de 0,17 et 0,22, respectivement de 30 à 15 jours et 15 à 7 pré-partum (données non présentées).

Par ailleurs, certaines données sont manquantes (18,4 % pour la 2^{ème} visite et 0,3% pour la 3^{ème} visite) en raison du rythme mensuel des visites de suivis de reproduction, ou de l'absence de certaines vaches, mises au pré au moment de la visite.

La détermination des paramètres de reproduction

L'IVCy est déterminé de manière discontinue, et calculé soit à partir de : (1) la date d'observation du comportement de chaleur par l'éleveur, (2) ou de mise en évidence d'une activité ovarienne cyclée, soit, par défaut, à partir de la date de fécondation. Ainsi, dans 33 %

des cas, l'IVCy est donc égal à l'IVIF. De ce fait, ce paramètre est très dépendant de l'observation des chaleurs par l'éleveur et du rythme des visites, ce qui signifie que l'IVCy estimé est le délai de reprise de cyclicité maximal qui peut être surestimé de 20 à 30 jours par rapport à l'IVCy réel.

L'IVIF est déterminée précisément lors d'insémination artificielle ou d'observation de saillie, sans retour, suivie d'un diagnostic de gestation positif. Si la saillie n'est pas observée, l'IVIF est estimé lors du diagnostic de gestation précoce, avec une précision d'environ ± 5 jours (données de G. de Crémoux). Le diagnostic de gestation permet également de vérifier la cohérence entre la date d'IA ou de saillie et le développement de l'embryon ou du fœtus et d'évaluer une éventuelle saillie sur un retour en chaleur.

L'IVV constitue un paramètre précis, puisque l'éleveur déclare tous ses vêlages. Cependant, compte tenu du délai d'obtention de la date du vêlage suivant, l'IVV n'a pas pu être calculé pour 60 vaches (17 qui n'avaient pas été fécondées, 17 femelles gravides dont la date de vêlage n'est pas connue et 26 femelles diagnostiquées gravides et qui ont avorté), ce qui limite l'analyse des facteurs influençant ce paramètre.

Comme dans toutes les études, le taux d'avortement est sous-estimé car les avortements précoces sont difficiles à mettre en évidence. Il faudrait pour cela réaliser un suivi de la progestéronémie régulier après la saillie ou l'IA pour mettre en évidence le maintien du corps jaune gestatif et donc d'un début de gestation. Dans cette étude, ce suivi n'a pas été réalisé pour des raisons de contrainte de temps et de coût.

Un grand nombre de facteurs peuvent influencer les performances de reproduction. Cependant, compte tenu de l'effectif limité des 390 femelles incluses dans l'étude, il n'a pas été possible d'analyser simultanément tous ces facteurs de variation (mois de vêlage, race, rang de vêlage, élevage *etc...*) et seules des analyses univariées ont été réalisées pour étudier l'effet du rang de vêlage et l'influence des indicateurs métaboliques sur la reproduction.

Dans cette étude, certains facteurs d'élevage ou liés à l'animal, qui peuvent influencer la fonction de reproduction, n'ont pas été pris en compte dans l'analyse. Il s'agit du mode de reproduction, des conditions de vêlage, de la race ou de la saison.

Mode de reproduction

Le mode de reproduction (IA ou monte naturelle) et la présence du taureau dans l'élevage, peuvent influencer la reprise de cyclicité (Blanc, 2002).

Conditions de vêlage

Ce facteur a une influence majeure sur la durée de l'anoestrus postpartum, la survenue d'affections postpartum et la fertilité. Il peut conduire à une réforme anticipée (Ducrot et al.,

1994). Ce facteur, qui n'a pas été documenté de manière exhaustive dans cette étude, pourrait en partie expliquer les 7 femelles non remises à la reproduction et des 10 femelles non fécondées sur la période d'étude.

La race et le système d'élevage

Dans cette étude, les performances de reproduction des femelles Limousines sont similaires à celles des Blondes d'Aquitaine, avec une reprise de cyclicité de 53,6 et 57 jours après vêlage et un IVV moyen de 372 et 377,1 jours. Ces performances de reproduction sont meilleures que celles rapportées par Coutard (Coutard, 2007) sur une population de femelles allaitantes en Pays de Loire comprenant 30 à 35 % de primipares, avec un IVV moyen de 381 jours pour les Limousines et 394 jours pour les Blondes d'Aquitaine. Elles sont également bien supérieures à celles rapportées chez les femelles multipares en France par Grimard *et al.* (Grimard *et al.*, 2017), avec un IVV moyen de 401 jours pour les Blondes d'Aquitaine et de 384 jours pour les Limousines. Cette différence pourrait être due à plusieurs facteurs : (1) les ressources fourragères étaient relativement abondantes sur l'année 2017, ce qui explique qu'un faible pourcentage de la population suivie était en déficit énergétique et (2) le niveau technique relativement élevé des élevages allaitants en suivi de reproduction (3) le système d'élevage de veaux d'Aveyron, avec un allaitement rationné. En effet, la diminution de la fréquence des tétées permet de réduire la durée de l'œstrus, d'autant plus que le veau est séparé de la mère entre les tétées (type salle d'allaitement) (Stagg *et al.*, 1998 ; Crowe *et al.*, 2014).

Le rang de vêlage

L'influence du rang de vêlage sur les performances de reproduction a été étudiée par une analyse univariée. Les primipares représentent seulement 10% de la population étudiée. Leurs performances de reproduction sont diminuées comparativement aux multipares, avec des délais post-vêlage allongés de 23 j pour la reprise de cyclicité, de 26 j pour la saillie fécondante et 25 j pour l'IVV. Ces résultats sont en accord avec ceux précédemment rapportés, avec un allongement de l'IVV de 5 à 15 jours par rapport à l'IVV moyen du troupeau pour les races Limousine et Blonde d'Aquitaine (Grimard *et al.*, 2017) et de l'ordre de 3 semaines pour la race charolaise (Agabriel *et al.*, 1992).

Dans cette étude, la majorité des vaches primipares ont un profil de NEC caractérisé par une NEC pré-partum comprise entre 3 et 3,5 et relativement stable sur la période d'étude. Cela signifie que ces femelles ont puisé modérément sur leurs réserves corporelles. Cette capacité d'adaptation à une augmentation de la dépense énergétique est surtout observée chez des femelles qui vêlent tardivement (De La Torre, 2010), ce qui est le cas pour 26 des 31 primipares de cette étude dont l'âge au vêlage est supérieur à 30 mois). Seulement 5 primipares ont vêlé précocement entre 24 et 30 mois.

Par ailleurs, 39 femelles (10% des vaches incluses dans l'étude) ont un rang de vêlage supérieur

à 10, ce qui peut expliquer en partie une altération des performances de reproduction et leur réforme (15,4 % d'entre elles). En effet, un faible pourcentage (3,8%) des vaches suivies a été réformé. Parmi elles, 6 ont été réformées pour leur âge et 9 ont été réformées pour infécondité dont trois atteintes de métrite.

Influence du déficit énergétique sur les performances de reproduction

Dans cette étude, différents marqueurs métaboliques ont été utilisés pour évaluer le déficit énergétique : les profils de NEC, les profils de BOH et les AGNE en période peripartum. La NEC est un paramètre facile à évaluer et peu coûteux. Cependant, son évaluation est semi-quantitative et présente une part de subjectivité. Dans cette étude, 6 opérateurs différents sont intervenus, ce qui pourrait accroître la variation de l'évaluation de la NEC. Cependant, la plupart des NEC a été évaluée par le même vétérinaire (75% des visites). Par ailleurs, les 5 autres opérateurs ont été formés par ce dernier ou travaillent en collaboration avec lui, ce qui conduit à une uniformisation des critères d'évaluation de la NEC. En outre, il a été montré précédemment que 60 à 70% de la variabilité de la NEC est attribuable à l'animal, alors que moins de 5% est lié à l'opérateur, avec une bonne répétabilité intra et inter-opérateurs (Broster, Broster, 1998). Ainsi, l'hétérogénéité de la conformation des vaches (vache petite et trapue versus grande) pourrait constituer la plus grande part de variabilité de l'évaluation de la note d'état corporel. Pour prendre en compte la variabilité inter et intra-opérateurs, l'analyse des profils de NEC n'a retenu que des variations individuelles de NEC entre 2 visites consécutives supérieures à 0,5 point.

Dans cette étude, 12 profils de NEC ont été établis en fonction tout d'abord de l'évolution de la NEC entre la période pré-partum et 50-90 j postpartum. La population de femelles présente globalement un bon état corporel et un faible amaigrissement. Ainsi, 16 femelles seulement présentent une diminution de plus d'1 point de l'état corporel sur la période, alors qu'une grande majorité restent stables. Parmi elles, seulement 30 femelles ont une NEC insuffisante (2-2,5) alors que la majorité des femelles (299) ont une NEC moyenne (3-3,5) et 15 femelles ont une NEC de 4-4,5. Des ressources fourragères relativement abondantes sur l'année 2017-2018 pourrait expliquer le faible déficit énergétique des femelles et constitue véritablement une limite à cette étude qui vise à évaluer la relation entre le déficit énergétique et les performances de reproduction. A titre de comparaison, l'analyse des données de reproduction pour l'élevage B sur la saison 2018-2019, caractérisée par des rendements fourragers médiocres et des stocks de fourrages insuffisants, montre une diminution des performances de reproduction, associée à un fort amaigrissement au cours de la période d'allaitement.

Malgré cette limite, l'étude permet de montrer que les femelles qui maigrissent ou en

état corporel insuffisant présentent une reprise de cyclicité retardée de 19 à 30 jours par rapport aux femelles en bon état corporel et stable sur la période. Il en résulte un allongement de l'intervalle V-IAF de 20 jours environ. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Blanc (Blanc, 2002) sur 180 Charolaises multipares dont la reprise de cyclicité a été déterminée par le suivi de la progestéronémie et dont les saillies ont été enregistrées chaque jour. Les intervalles vêlage-première ovulation sont de 68 jours pour les femelles avec une NEC au vêlage entre 1 et 2, de 54 jours pour une NEC entre 2 et 3 et de 43 jours pour une NEC entre 3 et 4. Ainsi, un déficit énergétique a conduit à un retard de 25 jours de la reprise de cyclicité. De la même façon, l'IVIF est augmenté de 22 jours, chez les femelles maigres (NEC au vêlage entre 1 et 2), comparativement aux femelles en bon état (NEC entre 3 et 4). Une autre étude française sur les femelles allaitantes (Agabriel et al., 1992) montre que l'IVV dépend de la note de début d'hiver : en deçà de 2,5 points de NEC, l'IVV augmente de près de 30 jours par point en moins ; de 3,5 à 2,5, il diminue de 10 jours et au-dessus de 3,5, l'état n'intervient plus sur les performances de reproduction.

Ainsi, une femelle avec une NEC entre 2 et 3 en pré-partum aura une forte probabilité d'avoir des performances de reproduction dégradées. Pour les femelles en bon état au vêlage, un amaigrissement de plus d'un point entraîne une détérioration des paramètres de reproduction.

La différence de l'IVV de 26 j entre les femelles maigres au vêlage (388 j) et les femelles en bon état d'entretien (362 j) a des répercussions technico-économiques. En faisant un calcul simple en considérant un troupeau de 70 mères, elle se traduit par 5 veaux supplémentaires par an.

D'une façon générale, une forte proportion de la population étudiée présentaient des marqueurs métaboliques (BOH et AGNE) dans les normes usuelles, ce qui est cohérent avec le faible amaigrissement observé sur les femelles. Ainsi, seulement 19 % des valeurs de BOH sur les 4 périodes confondues, étaient supérieures au seuil de 0,8 mmol/L. Par ailleurs pour les BOH, les groupes de femelles présentant des profils de NEC indiquant un déficit énergétique avaient des concentrations sanguines de BOH augmentées uniquement pendant la période pré-partum. Pour les AGNE, seules 3 femelles sur 286 présentaient au moins une valeur d'AGNE peripartum supérieure à 0,7 mmol/L. C'est la raison pour laquelle, des seuils correspondant au 9^{ème} percentile ont été utilisés pour les AGNE mesurées en pré-partum et postpartum immédiat, et pour les BOH en pré-partum, pour évaluer la relation entre les marqueurs et les performances de reproduction.

Par ailleurs, ces marqueurs métaboliques présentent des variations liées au repas. Or, les prélèvements de sang pour la mesure des concentrations de BOH sanguins et des AGNE sériques ont été réalisées entre 0 et 22h30 après le repas, c'est à dire avant ou après la

distribution de la ration ou du complément de production. Or, les paramètres métaboliques varient en fonction du délai entre la prise alimentaire et le prélèvement (Dale et al., 1979). Ainsi, dans cette étude, les concentrations de BOH avant la distribution de la ration (délai repas-prélèvement ≥ 10 heures) sont significativement plus faibles que celles mesurées après la distribution de la ration (0,44 contre 0,56 mmol/L en moyenne, $p=0,017$, Test de Wilcoxon), ce qui peut représenter un biais pour étudier la relation entre ce marqueur métabolique et les performances de reproduction. Ce résultat est cohérent avec les variations postprandiales des valeurs de BOH rapportées sur des femelles allaitantes, avec des valeurs maximales dans les 2h postprandiales, des valeurs intermédiaires entre 2 et 3h postprandiales et des valeurs basses plus de 4h après le repas principal (Egal, 2013). En outre, la concentration en BOH sanguine est dépendante de la composition de la ration (Herdt et al., 1981) et notamment de la proportion de concentré dans la ration, ce qui n'a pas pu être pris en compte dans l'analyse des données.

Malgré ces limites, il a été démontré que les femelles avec des valeurs de BOH pré-partum supérieures au seuil de 0,8 mmol/L ont une reprise de cyclicité retardée de 18 jours. Le seuil de 0,8 mmol/L a été fixé arbitrairement dans cette étude. Il est plus bas que le seuil communément utilisé en élevage laitier de 1,2 à 1,4 mmol/L (Duffield et al., 2009). Cependant, il est similaire à celui qui a été déterminé sur la période de 5 à 50 jours postpartum, en prenant en compte des associations entre les BOH et des troubles postpartum tels que la métrite et la non délivrance, avec des risques relatifs, respectivement de 15 et 6 (Egal, 2013).

Le seuil d'AGNE de 0,4 mmol/L a été rapporté dans la littérature pour les femelles laitières (Chapinal et al., 2011 ; Roberts et al., 2012). Sur la population de femelles allaitantes étudiée, le seuil en AGNE de 0,4 mmol/L semble pertinent en pré-partum car le dépassement de ce seuil est associé à un allongement de l'IVIF de 21 jours en moyenne.

[Influence de l'excès d'azote soluble sur les performances de reproduction](#)

Quatre-vingt-dix pourcents des vaches présentant des urémies dans les valeurs usuelles (Doornenbal et al., 1988), entre 2 et 6 mmol/L. L'urémie peut varier en fonction de la distribution de la ration. Ainsi, une diminution significative des valeurs d'urémie a été observée lorsque le délai entre la distribution de la ration et le prélèvement sanguin dépasse 10 heures de 3,7 mmol/L en moyenne à 2,9 mmol/L ($p=0,041$, Test de Wilcoxon). Une urémie supérieure à 5 mmol/L au moment de la mise à la reproduction est associée à une augmentation de l'IVV de 15 jours. Ce résultat est cohérent avec la diminution du taux de gestation observée pour des concentrations plasmatiques d'urée supérieures à 6,66 mmol/L (Froidmont, 2002).

L'excès d'azote soluble a un effet toxique direct sur les gamètes et sur l'embryon (Valent, 2004), ce qui conduit à une altération de la fertilité. Par ailleurs, l'augmentation du pH utérin modifie

les sécrétions utérines et altère le développement embryonnaire et la production de prostaglandine F2 alpha. La baisse de l'efficacité du métabolisme ruminal peut également altérer la sécrétion de GnRH/LH durant le postpartum immédiat.

Ce marqueur reflète des apports azotés trop importants ou éventuellement un déficit énergétique. Dans cette étude, les vaches ayant maigri ont des valeurs d'urémie significativement plus élevées que les vaches globalement stables dont la NEC est entre 3 et 3,5 et que les vaches grasses dont le profil de NEC est en creux (une augmentation en moyenne de 1,7 mmol/L et 2,2 mmol/L respectivement).

Intérêts des marqueurs métaboliques dans le suivi de reproduction

L'utilisation systématique de marqueurs dans les suivis de reproduction présente l'intérêt de mettre en évidence précocement, à l'échelle du troupeau, un dysfonctionnement métabolique susceptible d'altérer les performances de l'animal, notamment de reproduction et de corriger rapidement les déséquilibres alimentaires, afin de prévenir leurs conséquences potentielles sur la santé ou les performances des femelles.

Dans cette étude, les trois marqueurs du bilan énergétique, la NEC, le BOH en pré-partum et les AGNE, sont pertinents car leurs variations sont associées à une dégradation des performances de reproduction. La NEC est le paramètre le plus facile à évaluer sur le terrain, mais il nécessite des enregistrements afin de prendre en compte ses variations au cours de la période peripartum et postpartum. Cependant, il existe une variation individuelle de la tolérance à un déficit énergétique chez la vache. Ainsi, dans les mêmes conditions environnementales et avec la même alimentation, deux vaches d'un même troupeau ne vont pas forcément avoir une évolution temporelle de leur concentration sanguine en AGNE identique. Ainsi, certaines vaches qui maigrissent mobiliseront peu leur tissu adipeux et donc la concentration sanguine en AGNE restera dans les normes. *A contrario*, certaines vont avoir une mobilisation précoce et très importante de leur réserve lipidique et donc une augmentation rapide et brutale des AGNE (Bouvier-Muller et al., 2016).

L'urémie est un marqueur d'un excès azoté et une augmentation au-delà du seuil de 0,5 mmol/L est associée à une dégradation des performances de reproduction.

Cependant, pour ces trois marqueurs métaboliques, des investigations complémentaires sont nécessaires pour déterminer précisément les seuils de ces marqueurs du déficit énergétique ou d'excès azoté au-delà desquels le risque relatif d'altérer les paramètres de reproduction est élevé. Ces analyses nécessiteront des études supplémentaires en raison du faible nombre de vaches présentant un déséquilibre métabolique et de la multiplicité des facteurs qui peuvent influencer les paramètres de reproduction.

Le Tableau 19 récapitule les intérêts et les limites de l'utilisation de ces marqueurs dans les conditions terrain :

	Marqueurs du déficit métabolique			Marqueur d'un excès azoté
	NEC	BOH	AGNE	Urée
Mise en œuvre des tests	Simple et rapide Besoin d'un référentiel pour affiner l'évaluation	Rapide et au chevet de l'animal	Dosage réalisable au cabinet Mesures en série Temps (45min) Limite de conservation des réactifs	Rapide et simple au cabinet
Prix	Nul, le temps passé	Appareil, bandelette, matériel de prélèvement 2€/test	Appareil Vet Photometer® 400€ et consommables 260€ pour 100 mesures	Kit bandelette 2€/test
Indicateur de l'amaigrissement	Bon	Variable à mauvais	Variable (nécessite une cinétique)	Excès azoté
Valeur prédictive d'une répercussion sur les performances de reproduction	Bon	En pré-partum avec un seuil de 0,79 mmol/L	Bonne en pré-partum	Bonne mais tardive (plus de 50j postpartum)

Tableau 19 : Comparaison des intérêts et des limites de l'utilisation de ces marqueurs dans les conditions terrain.

En définitive, cette étude a permis d'évaluer l'intérêt d'outils d'évaluation du statut métabolique pour améliorer les suivis de reproduction en élevage allaitant :

- La NEC évaluée sur des critères standardisés et à des moments clés de la vie génitale
- Des marqueurs métaboliques : leur évaluation doit se faire sur plusieurs vaches, à différents stades de la vie génitale. Dans la mesure du possible, il est préférable de standardiser le délai par rapport à la distribution des concentrés ou de la ration.
- Une évaluation de la ration, en portant une attention particulière aux apports énergétiques, mais également aux apports azotés, qui peuvent être excédentaires dans ce bassin de production (utilisation d'ensilage et de concentrés).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de montrer que les vaches ayant maigri ou avec un état corporel insuffisant au vêlage ont globalement une reprise de cyclicité plus tardive, conduisant à une altération des performances de reproduction. Ces données sont corroborées par (1) l'analyse des BOH qui montre qu'une augmentation de BOH pré-partum au-dessus du seuil de 0,8 mmol/L entraîne un allongement du délai entre le vêlage et la reprise de cyclicité de 17 jours et par l'analyse des AGNE, qui montre un allongement de l'IVIF de 21 jours pour des AGNE >0,4 mmol/L. A l'instar de ce qui a déjà été observé en élevage laitier, ces résultats signifient que la constitution des réserves corporelles en fin de gestation et la préparation au vêlage sont des éléments clés de la réussite de la reproduction. Cependant, cette étude n'a pas permis d'évaluer la robustesse des seuils des marqueurs du métabolisme énergétique utilisés, en raison du faible pourcentage de femelles maigres ou qui ont perdu du poids. En effet, l'année 2017-2018 a été favorable à la constitution des réserves fourragères ce qui explique la bonne couverture des besoins énergétiques associée à des performances de reproduction conformes aux objectifs pour ces races.

Pour déterminer plus précisément les valeurs prédictives et la précocité de ces marqueurs, et déterminer les seuils utilisables sur le terrain, une étude pourrait être conduite dans des conditions expérimentales contrôlées pour évaluer l'évolution temporelle des concentrations de BOH et d'AGNE suite à une restriction énergétique.

Une augmentation de l'urémie n'a pas d'effet sur la reprise de cyclicité, mais sur la fertilité. Ce marqueur peut donc être utilisé au moment de la mise à la reproduction.

En définitive, l'utilisation de marqueurs métaboliques dans les suivis de reproduction permet : (1) d'objectiver un dysfonctionnement métabolique et de le corriger rapidement afin d'éviter ses répercussions sur les performances de reproduction ; (2) de sensibiliser l'éleveur à l'importance de la gestion de la préparation au vêlage.

L'étude pourrait maintenant être élargie pour évaluer l'effet d'un déficit énergétique pendant la période peripartum sur la santé et la croissance des veaux et sur la prévalence des troubles liés au vêlage (tels que les dystocies, les non délivrances, les métrites, les prolapsus du vagin et/ou de l'utérus).

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Nicole HAGEN, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse commune de **Hélène TERRAL** et **Alexandre LAURENT** intitulée « **Impact du déficit énergétique sur les performances de reproduction de troupeaux allaitants suivis dans le cadre d'une clientèle vétérinaire** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 23/07/2019
Professeure Nicole HAGEN
Enseignant-chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
Le Président du jury :
Professeur Jean PARINAUD



Mme TERRAL Hélène et Mr LAURENT Alexandre ont respectivement été admis sur concours en : 2014
ont obtenu leur diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 18/07/2018
ont validé leur année d'approfondissement le : 16/07/2019
n'ont plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

Vu :
Le Directeur par intérim de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Frédéric BOUSQUET

Par déléguée,



Caroline LACROUX
Directrice de l'enseignement
et de la vie étudiante



Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université Paul Sabatier
Monsieur Jean-Pierre VINEL

Le Président de l'Université Paul Sabatier
par déléguée,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRE-OBRECHT



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEWUYI, A.A., GRUYS, E. et VAN EERDENBURG, F.J.C.M., 2005. Non esterified fatty acids (NEFA) in dairy cattle. A review. In : *Veterinary Quarterly*. Septembre 2005. Vol. 27, n° 3, p. 117-126. DOI 10.1080/01652176.2005.9695192.

AGABRIEL, J., GRENET, N. et PETIT, M., 1992. Etat corporel et intervalle entre vêlages chez la Vache allaitante. Bilan de deux années d'enquêtes en exploitation. In : *INRA Productions animales*. 1992. Vol. 5, n° 5, p. 355-369.

AGABRIEL, J., 2010. *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments : Tables Inra 2010. Édition remaniée*. S.l. : Quae. ISBN 978-2-7592-0873-9.

AGRESTE, Panorama, 2017. *Bilan conjoncturel 2017. Numéro 5* [en ligne]. Décembre 2017. S.l. : Ministère de l'agriculture et de l'alimentation - agreste - La statistique, l'évaluation et la prospective agricole - Bilans annuels conjoncturels. [Consulté le 15 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/conjbilan2017.pdf>.

ALVES DE OLIVEIRA, L., COMMUN, L., FORGEAT, G. et BERTRAND, E., 2014. Transition des vaches laitières : de nouveaux outils pour mesurer le déficit énergétique, avant et après vêlage. In : *Proceedings SNGTV*, 21 mai 2014.

BELLOWS, R. A., GRINGS, E. E., SIMMS, D. D., GEARY, T. W. et BERGMAN, J. W., 2001. Effects of Feeding Supplemental Fat During Gestation to First-Calf Beef Heifers. In : *The Professional Animal Scientist*. 1 juin 2001. Vol. 17, n° 2, p. 81-89. DOI 10.15232/S1080-7446(15)31602-8.

BELLOWS, R. A. et SHORT, R. E., 1978. Effects of Precalving Feed Level on Birth Weight, Calving Difficulty and Subsequent Fertility. In : *Journal of Animal Science*. 1 juin 1978. Vol. 46, n° 6, p. 1522-1528. DOI 10.2527/jas1978.4661522x.

BLANC, F., BLANC, J., DOZIAS, D. et AGABRIEL, J., 2002. Modélisation de l'efficacité de la reproduction chez la vache allaitante. Effet de la date d'introduction du taureau et de l'état d'engraissement au vêlage sur l'intervalle vêlage-saillie fécondante. In : *Rencontres Recherches Ruminants* [en ligne]. [Consulté le 7 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2002_modelisation_03_Blanc.pdf.

BLANC, F., BOCQUIER, F., AGABRIEL, J., D'HOUR, P. et CHILLIARD, Y., 2004. Amélioration de l'autonomie alimentaire des élevages de ruminants : conséquences sur les fonctions de production et la longévité des femelles. In : *Rencontres Recherches Ruminants*. 2004. p. 8.

BLANC, F., BOCQUIER, F., DEBUS, N., AGABRIEL, J., D'HOUR, P. et CHILLIARD, Y., 2004. La pérennité et la durabilité des élevages de ruminants dépendent des capacités adaptatives des femelles. In : *Productions Animales -Paris- Institut National de la Recherche Agronomique-*. 1 janvier 2004. Vol. 17, p. 287-302.

BOUVIER-MULLER, J., ALLAIN, C., ENJALBERT, F., TABOURET, G., PORTES, D., CAUBET, C., TASCA, C., FOUCRAS, G. et RUPP, R., 2016. Response to dietary-induced energy restriction in dairy sheep divergently selected for resistance or susceptibility to mastitis. In : *Journal of Dairy Science*. 1 janvier 2016. Vol. 99, n° 1, p. 480-492. DOI 10.3168/jds.2015-9785.

BOYD, G. W., KISER, T. E. et LOWREY, R. S., 1987. Effects of prepartum energy intake on steroids during late gestation and on cow and calf performance. In : *Journal of Animal Science*. Juin 1987. Vol. 64, n° 6, p. 1703-1709. DOI 10.2527/jas1987.6461703x.

BROCKMAN, R. P., 1979. Roles for Insulin and Glucagon in the Development of Ruminant Ketosis — A Review. In : *The Canadian Veterinary Journal*. Mai 1979. Vol. 20, n° 5, p. 121-126.

- BROSTER, W.H. et BROSTER, V.J., 1998. Body score of dairy cows. In : *Journal of Dairy Research*. Février 1998. Vol. 65, n° 1, p. 155-173. DOI 10.1017/S0022029997002550.
- CHAPINAL, N., CARSON, M., DUFFIELD, T. F., CAPEL, M., GODDEN, S., OVERTON, M., SANTOS, J. E. P. et LEBLANC, S. J., 2011. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. In : *Journal of Dairy Science*. 1 octobre 2011. Vol. 94, n° 10, p. 4897-4903. DOI 10.3168/jds.2010-4075.
- CHILLIARD, Y., 1987. Revue bibliographique : Variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation 2e partie : chez la brebis et la vache. In : *Reproduction Nutrition Développement*. 1987. Vol. 27, n° 2A, p. 327-396. DOI 10.1051/rnd:19870301.
- CHILLIARD, Y., BOCQUIER, F. et DOREAU, M., 1998. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. In : *Reproduction Nutrition Development*. 1998. Vol. 38, n° 2, p. 131-152. DOI 10.1051/rnd:19980201.
- CORAH, L. R., DUNN, T. G. et KALTENBACH, C. C., 1975. Influence of Prepartum Nutrition on the Reproductive Performance of Beef Females and the Performance of Their Progeny. In : *Journal of Animal Science*. 1 septembre 1975. Vol. 41, n° 3, p. 819-824. DOI 10.2527/jas1975.413819x.
- COUTARD, J.P., MENARD, M., BENOITEAU, G., LUCAS, F., HENRY, J.M., CHAIGNEAU, F. et RAIMBAULT, B., 2007. Reproduction des troupeaux allaitants dans les Pays de la Loire : facteurs de variation des performances. In : *Rencontres Recherches Ruminants* [en ligne]. 2007. [Consulté le 5 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2007_09_reproduction_02_Coutard.pdf.
- CROWE, M. A., DISKIN, M. G. et WILLIAMS, E. J., 2014. Parturition to resumption of ovarian cyclicity : comparative aspects of beef and dairy cows. In : *animal*. Mai 2014. Vol. 8, n° s1, p. 40-53. DOI 10.1017/S1751731114000251.
- DALE, H., VIK-MO, L. et FJELLHEIM, P., 1979. A field survey of fat mobilization and liver function of dairy cows during early lactation. Relationship to energy balance, appetite and ketosis. In : *Nordisk Veterinaermedicin*. Mars 1979. Vol. 31, n° 3, p. 97-105.
- DE LA TORRE, A., BLANC, F., EGAL, D. et AGABRIEL, J., 2010. Dynamique post-partum de l'évolution des réserves corporelles de la vache allaitante charolaise selon sa parité et l'alimentation hivernale - 3R - Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. In : *Rencontres Recherches Ruminants* [en ligne]. 2010. [Consulté le 5 septembre 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.journees3r.fr/spip.php?article3016>.
- DISENHAUS, C., CUTULLIC, E., BLANC, F., GATIEN, J., AGABRIEL, J., HETREAU, T., MICHEL, G., PACCARD, P., BADINAND, F., EGAL, D. et PONSART, C., 2008. Caractéristiques comparées de la cyclicité après vêlage de différentes races bovines. In : *Rencontres Recherches Ruminants* [en ligne]. 2008. [Consulté le 18 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2008_12_reproduction_02_Disenhaus.pdf.
- DOORNENBAL, H, TONG, A K et MURRAY, N L, 1988. Reference values of blood parameters in beef cattle of different ages and stages of lactation. In : *Canadian Journal of Veterinary Research*. Janvier 1988. Vol. 52, n° 1, p. 99-105.
- DOREAU, M., FLECHET, J., LEFAIVRE, R., OLLIER, A. et SORNET, C., 1983. Effect of food intake on variations in different plasma constituents at the end of gestation and the start of lactation. In : *Annales De Recherches Vétérinaires. Annals of Veterinary Research*. 1983. Vol. 14, n° 1, p. 39-48.
- DUCROT, C., GRÖHN, Y. T., HUMBLLOT, P., BUGNARD, F., SULPICE, P. et GILBERT, R. O., 1994. Postpartum anæstrus in French beef cattle: An epidemiological study. In : *Theriogenology*. 1 octobre 1994. Vol. 42, n° 5, p. 753-764. DOI 10.1016/0093-691X(94)90443-M.

- 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. In : *The Canadian Veterinary Journal*. Novembre 1997. Vol. 38, n° 11, p. 713-718.
- DUFFIELD, T. F., LISSEMORE, K. D., MCBRIDE, B. W. et LESLIE, K. E., 2009. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. In : *Journal of Dairy Science*. 1 février 2009. Vol. 92, n° 2, p. 571-580. DOI 10.3168/jds.2008-1507.
- DUMONT, R., ROUX, M., AGABRIEL, J., TOURAILLE, C., BONNEMAIRE, J., MALTERRE, C. et ROBELIN, J., 1991. Engraissement des vaches de réforme de race Charolaise : Facteurs de variation des performances zootechniques, de la composition tissulaire des carcasses et de la qualité organoleptique de la viande. In : *INRA Productions animales*. 1991. Vol. 4, n° 4, p. 271-286.
- DUNN, T. G., INGALLS, J. E., ZIMMERMAN, D. R. et WILTBANK, J. N., 1969. Reproductive Performance of 2-Year-Old Hereford and Angus Heifers as Influenced by Pre- and Post-Calving Energy Intake. In : *Journal of Animal Science*. 1969. Vol. 29, n° 5, p. 719. DOI 10.2527/jas1969.295719x.
- EASDON, M. P., CHESWORTH, J. M., ABOUL-ELA, M. B. E. et HENDERSON, G. D., 1985. The effect of undernutrition of beef cows on blood hormone and metabolite concentrations post partum. In : *Reproduction Nutrition Développement*. 1985. Vol. 25, n° 1A, p. 113-126. DOI 10.1051/rnd:19850111.
- EGAL, M., 2013. *Cétose subclinique en élevage allaitant : prévalence et impact sanitaire*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2013, 86 p.
- EVANS, D. G., 1978. The interpretation and analysis of subjective body condition scores. In : *Animal Production*. Avril 1978. Vol. 26, n° 02, p. 119-125. DOI 10.1017/S0003356100039520.
- FIELDS, M.J. et SAND, R.S., 1993. *Factors Affecting Calf Crop*. S.l. : CRC Press. ISBN 978-0-8493-8754-8.
- FRIGGENS, N.C., ANDERSEN, J.B., LARSEN, T., AES, O. et DEWHURST, R.J., 2004. Priming the dairy cow for lactation : a review of dry cow feeding strategies. In : *Animal Research*. Novembre 2004. Vol. 53, n° 6, p. 453-473. DOI 10.1051/animres:2004037.
- FROIDMONT, E., THEWIS, A. et BARTIAUX-THILL, N., 2002. L'urémie (lait/plasma) peut révéler un apport excessif de protéines limitant la fertilité des vaches - 3R - Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. In : *Rencontres Recherches Ruminants [en ligne]*. 2002. [Consulté le 2 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.journees3r.fr/spip.php?article895>.
- GAREL, J.P., PETIT, M. et AGABRIEL, J., 1988. Alimentation hivernale des vaches allaitantes en zone de montagne. In : *INRA Productions animales*. 1988. Vol. 1, n° 1, p. 19-23.
- GIULIODORI, M.J., DELAUD, C., CHILLIARD, Y., BECÚ-VILLALOBOS, D., LACAU-MENGIDO, I. et DE LA SOTA, R.L., 2011. High NEFA concentrations around parturition are associated with delayed ovulations in grazing dairy cows. In : *Livestock Science*. Novembre 2011. Vol. 141, n° 2-3, p. 123-128. DOI 10.1016/j.livsci.2011.05.007.
- GRIMARD, B., AGABRIEL, J., CHAMBON, G., CHANVALLON, A., CONSTANT, F. et CHASTANT, S., 2017. Particularités de la reproduction des vaches allaitantes de races françaises. In : *INRA Productions Animales*. 2017. Vol. 30, n° 2, p. 125-138. DOI 10.20870/productions-animales.2017.30.2.2239.
- GRIMARD, B., HUMBLLOT, P., PONTER, A. A., MIALOT, J. P., SAUVANT, D. et THIBIER, M., 1995. Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and oestradiol secretion and follicular development in suckled beef cows. In : *Reproduction*. 1 mai 1995. Vol. 104, n° 1, p. 173-179. DOI 10.1530/jrf.0.1040173.

HERDT, T. H., STEVENS, J. B., LINN, J. et LARSON, V., 1981. Influence of ration composition and energy balance on blood beta-hydroxybutyrate (ketone) and plasma glucose concentrations of dairy cows in early lactation. In : *American journal of veterinary research*. Juillet 1981. Vol. 42, n° 7, p. 1177-1180.

HIGHT, G. K., 1966. The effects of undernutrition in late pregnancy on beef cattle production. In : *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Août 1966. Vol. 9, n° 3, p. 479-490. DOI 10.1080/00288233.1966.10431544.

HOUGH, R L, MCCARTHY, F D, KENT, H D, EVERSOLE, D E et WAHLBERG, M L, 1990. Influence of nutritional restriction during late gestation on production measures and passive immunity in beef cattle. In : *Journal of Animal Science*. 1990. Vol. 68, n° 9, p. 2622. DOI 10.2527/1990.6892622x.

HOUGHTON, P L, LEMENAGER, R P, HORSTMAN, L A, HENDRIX, K S et MOSS, G E, 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. In : *Journal of Animal Science*. 1990. Vol. 68, n° 5, p. 1438. DOI 10.2527/1990.6851438x.

IDELE, 2017. Évolutions des revenus dans les systèmes bovins viande d'Occitanie en 2017. In : *idele.fr* [en ligne]. 2017. [Consulté le 15 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/inosys-reseaux-delevage/publication/idelesolr/recommends/evolutions-de-revenus-dans-les-systemes-bovins-viande-doccitanie-en-2017.html>.

INAO, 1996. Fiche produit IGP Veau d'Aveyron et de Ségala. In : inao.gouv.fr [en ligne]. 1996. [Consulté le 3 janvier 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.inao.gouv.fr/produit/3422>.

INGRAND, S, 2003. Niveau d'ingestion, comportement alimentaire et performances de vaches Charolaises alimentées en quantités limitées : effet de la composition des groupes. In : *Rencontres Recherches Ruminants*. 2003. p. 4.

INRA, 2015. Note d'état corporel de la vache allaitante. In : Institut de l'Élevage, 2015.

KOHN, R. A., DINNEEN, M. M. et RUSSEK-COHEN, E., 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. In : *Journal of Animal Science*. 1 avril 2005. Vol. 83, n° 4, p. 879-889. DOI 10.2527/2005.834879x.

KOHN, R., 2007. Use of Milk or Blood Urea Nitrogen to Identify Feed Management Inefficiencies and Estimate Nitrogen Excretion by Dairy Cattle and Other Animals. In : *Florida Ruminant Nutrition Symposium*. 2007. p. 15.

LEBLANC, S. J., DUFFIELD, T. F., LESLIE, K. E., BATEMAN, K. G., KEEFE, G. P., WALTON, J. S. et JOHNSON, W. H., 2002. Defining and Diagnosing Postpartum Clinical Endometritis and its Impact on Reproductive Performance in Dairy Cows. In : *Journal of Dairy Science*. 1 septembre 2002. Vol. 85, n° 9, p. 2223-2236. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(02)74302-6.

LHERM, M et BENOIT, M, 2003. L'autonomie de l'alimentation des systèmes d'élevage allaitant : évaluation et impacts économiques. In : *Fourrages* (176). 2003. p. 411-424.

MANIAVAL, 2003. *Une nouvelle utilisation zootechnique de l'échographie : estimation de l'état corporel des bovins ; application sur une quarantaine de blondes d'aquitaine en période d'engraissement* [en ligne]. S.l. : Paul-Sabatier de Toulouse. [Consulté le 14 décembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://oatao.univ-toulouse.fr/848/5/andro_848_2.pdf.

MCART, Jessica A.A., NYDAM, Daryl V., OETZEL, Garrett R., OVERTON, Thomas R. et OSPINA, Paula A., 2013. Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. In : *The Veterinary Journal*. Décembre 2013. Vol. 198, n° 3, p. 560-570. DOI 10.1016/j.tvjl.2013.08.011.

- MEYNADIER, Anabelle, 2018. Cours sur l'alimentation de la vache allaitante. In : ENVT. 2018.
- NICOLL, G. B., 1981. Sources of Variation in the Condition Scoring of Cows. In : *Irish Journal of Agricultural Research*. 1981. Vol. 20, n° 1, p. 27-33. JSTOR
- ORTIGUES, I, 1991. Adaptation du métabolisme énergétique des ruminants à la sous-alimentation. Quantification au niveau de l'animal entier et de tissus corporels. In : *Reproduction Nutrition Development*. 1991. Vol. 31, n° 6, p. 593-616.
- PEDRON, O., CHELI, F., SENATORE, E., BAROLI, D. et RIZZI, R., 1993. Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameters, and milk fatty acid composition in dairy cows. In : *Journal of Dairy Science*. Septembre 1993. Vol. 76, n° 9, p. 2528-2535. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(93)77588-8.
- PETIT, M. et AGABRIEL, J., 1993. Etat corporel des vaches allaitantes Charolaises : signification, utilisation pratique et relations avec la reproduction (1). In : *INRA Productions animales*. 1993. Vol. 6, n° 5, p. 311-318.
- PETIT, M et MICOL, D, 1981. Evaluation of energy requirements of beef cows during early lactation. In : *Livestock Production Science*. 1 avril 1981. Vol. 8, n° 2, p. 139-153. DOI 10.1016/0301-6226(81)90017-8.
- PONSART, C, LEGER, T, DUBOIS, P, CHARBONNIER, G, FRERET, S et HUMBLLOT, P, 2006. Identification de profils de note d'état caractérisant des primipares et des multipares de race Prim'Holstein et relations avec le délai de mise à la reproduction. In : *Rencontres Recherches Ruminants*. 2006. p. 1.
- PRESTON, R. L., SCHNAKENBERG, D. D. et PFANDER, W. H., 1965. Protein Utilization in Ruminants. In : *The Journal of Nutrition*. 1 juillet 1965. Vol. 86, n° 3, p. 281-288. DOI 10.1093/jn/86.3.281.
- RICHARDS, M. W., SPITZER, J. C. et WARNER, M. B., 1986a. Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle²³. In : *Journal of Animal Science*. 1 février 1986. Vol. 62, n° 2, p. 300-306. DOI 10.2527/jas1986.622300x.
- RICHARDS, M. W., SPITZER, J. C. et WARNER, M. B., 1986b. Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle²³. In : *Journal of Animal Science*. 1 février 1986. Vol. 62, n° 2, p. 300-306. DOI 10.2527/jas1986.622300x.
- ROBERTS, T., CHAPINAL, N., LEBLANC, S. J., KELTON, D. F., DUBUC, J. et DUFFIELD, T. F., 2012. Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. In : *Journal of Dairy Science*. 1 juin 2012. Vol. 95, n° 6, p. 3057-3063. DOI 10.3168/jds.2011-4937.
- SCHELCHER, F., VALARCHER, J.F., FOUCRAS, G. et ESPINASSE, J., 1995. *Profils biochimiques : intérêts et limites*. Le Point Vétérinaire, 1995, 27 (numéro spécial « Maladies métaboliques des ruminants »), 25-31.
- SCHOLER, A., PIANEZZI, A., VONDERSCHMITT, D. et GÄOTZ, null, 1977. [Determination of urea with the Merckognost test strips, and a comparison with a photometric method (author's transl)]. In : *Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry. Zeitschrift Fur Klinische Chemie Und Klinische Biochemie*. Octobre 1977. Vol. 15, n° 10, p. 583-585.
- SEPCHAT, B., D'HOUR, P. et AGABRIEL, J., 2017. Production laitière des vaches allaitantes : caractérisation et étude des principaux facteurs de variation. In : *INRA Productions Animales*. 2017. Vol. 30, n° 2, p. 139-152. DOI 10.20870/productions-animales.2017.30.2.2240.
- STAGG, K., SPICER, L.J., SREENAN, J.M., ROCHE, J.F. et DISKIN, M.G., 1998. Effect of Calf

Isolation on Follicular Wave Dynamics, Gonadotropin and Metabolic Hormone Changes, and Interval to First Ovulation in Beef Cows Fed Either of Two Energy Levels Postpartum1. In : *Biology of Reproduction*. 1 octobre 1998. Vol. 59, n° 4, p. 777-783. DOI 10.1095/biolreprod59.4.777.

STOKOL, T. et NYDAM, D. V., 2005. Effect of Anticoagulant and Storage Conditions on Bovine Nonesterified Fatty Acid and β -Hydroxybutyrate Concentrations in Blood. In : *Journal of Dairy Science*. 1 septembre 2005. Vol. 88, n° 9, p. 3139-3144. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(05)72996-9.

THÉRIEZ, M, PETIT, M et MARTIN-ROSSET, W, 1994. Caractéristiques de la conduite des troupeaux allaitants en zones difficiles. In : *Annales de zootechnie*. 1994. Vol. 43, n° 1, p. 33-47.

TUDOR, G., 1972. Effect of pre- and post- natal nutrition on the growth of beef cattle I. The effect of nutrition and parity of the dam on calf birth weight. In : *Australian Journal of Agricultural Research*. 1972. Vol. 23, n° 3, p. 389. DOI 10.1071/AR9720389.

VALENT, M., KOVÁČIK, J., FABIŠ, M., 2004. Blood urea and fertility in dairy cows and humans: Possible mechanisms and sites of action. In : Rizikové faktory potravného reťazca IV, Nitra, 7. 10. 2004. p. 4.

VEERKAMP, R.F., 1998. Selection for Economic Efficiency of Dairy Cattle Using Information on Live Weight and Feed Intake : A Review. In : *Journal of Dairy Science*. Avril 1998. Vol. 81, n° 4, p. 1109-1119. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(98)75673-5.

VEYSSET, P., AGABRIEL, J., INGRAND, S., BÉBIN, D., CONSTANT, I., LHERM, M., DAUPHIN L., 2007. La conduite de l'alimentation en élevage bovin allaitant : analyse des écarts entre pratiques et recommandations. In : Rencontres Recherches Ruminants. 2007. p. 4.

VOYVODA, Huseyin et ERDOGAN, Hasan, 2010. Use of a hand-held meter for detecting subclinical ketosis in dairy cows. In : *Research in Veterinary Science*. 1 décembre 2010. Vol. 89, n° 3, p. 344-351. DOI 10.1016/j.rvsc.2010.04.007.

VRIES, M. J. de et VEERKAMP, R. F., 2000. Energy Balance of Dairy Cattle in Relation to Milk Production Variables and Fertility. In : *Journal of Dairy Science*. 1 janvier 2000. Vol. 83, n° 1, p. 62-69. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(00)74856-9.

NOMS Prénoms : LAURENT Alexandre, TERRAL Hélène

TITRE : Impact du déficit énergétique sur les performances de reproduction de troupeaux allaitants suivis dans le cadre d'une clientèle vétérinaire

RESUME

L'objectif de l'étude était d'évaluer les conséquences du déficit énergétique sur les performances de reproduction de vaches allaitantes à l'aide de différents indicateurs : la note d'état corporel (NEC) et des marqueurs biochimiques, β -hydroxybutyrate (BOH) et acides gras non-estérifiés (AGNE). Le métabolisme azoté a été suivi par la mesure de l'urémie. 376 vaches allaitantes provenant de 21 élevages du Ségala ont été suivies en 2017-2018. Les vaches en déficit énergétique dont la NEC est restée stable entre 2 et 2,5 comparativement à celles avec une NEC stable entre 4 et 4,5 ont une reprise de cyclicité plus tardive (73 contre 43 j en moyenne) et un intervalle vêlage-vêlage allongé, de 362 à 388 j. Des vaches avec une NEC au vêlage ≥ 4 et un amaigrissement modéré (1 point de NEC) ont été fécondées un mois plus tôt que les vaches restées maigres (NEC stable entre 2 et 2,5). Des variations de marqueurs métaboliques sont associés à une détérioration des performances de reproduction. Cependant, des investigations complémentaires sont nécessaires pour déterminer les seuils de ces marqueurs du déficit énergétique ou d'excès azoté au-delà desquels le risque relatif d'altérer les paramètres de reproduction est élevé et qui pourraient être utilisés sur le terrain.

MOTS CLES : suivi de reproduction, élevage allaitant, NEC, paramètres métaboliques, performances de reproduction, déficit énergétique

TITLE : Effect of energy deficit on reproductive performance of commercial beef cattle

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the impact of a negative energy balance on the reproductive performance of beef cows using different indicators : the body condition score (BCS) and biochemical markers, hydroxybutyrate (BOH) and non-esterified fatty acids (NEFA). Nitrogen metabolism was followed by the measurement of uremia. 376 lactating cows from 21 herds located in Segala area were followed in 2017-18. Cows with negative energy balance evidenced by a BCS stable between 2 and 2.5 compared to those with a stable BCS between 4 and 4.5 have, a later recovery of cyclicity (mean, 73 vs. 43 days) and a longer calving interval, from 362 to 388 days. Cows with a BCS of 4 at calving and that lose body condition (1-point BCS) were pregnant one month earlier than cows with negative energy balance (BCS stable between 2 and 2.5). Changes in metabolic markers are associated with a deterioration in reproductive performance. However, further investigations are needed to determine the thresholds of these markers of energy deficit or nitrogen excess beyond which the relative risk of altering reproductive parameters is high and which could be used in the field.

KEYWORDS : reproductive monitoring, beef cows, BCS, metabolic parameters, reproductive performance, energy deficit

