



HAL
open science

Étude des relations entre les conduites alimentaires et les performances zootechniques de la chèvre laitière avec le taux d'urée du lait dans le secteur Rhône-Alpin

Manon Gabarret

► To cite this version:

Manon Gabarret. Étude des relations entre les conduites alimentaires et les performances zootechniques de la chèvre laitière avec le taux d'urée du lait dans le secteur Rhône-Alpin. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. dumas-01411681

HAL Id: dumas-01411681

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01411681>

Submitted on 7 Dec 2016

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Année universitaire : 2015-2016

Spécialité :

Production Animale

Spécialisation (et option éventuelle) :

Ingénierie zootechnique

Mémoire de Fin d'Études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Étude des relations entre les conduites alimentaires et les performances zootechniques de la chèvre laitière avec le taux d'urée du lait dans le secteur Rhône-Alpin.

Par : Manon GABARRET



<http://www.fidocl.fr/>

Soutenu à Rennes le 13 Septembre 2016

Devant le jury composé de :

Président : Anne-Lise JACQUOT

Rapporteur : Jocelyne FLAMENT

Maître de stage : Solène DUTOT, Éric BERTRAND

Enseignant référent : Pierre-Guy MARNET

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier particulièrement Solène DUTOT, ma maîtresse de stage, pour m'avoir permis de travailler sur ce sujet, ainsi que pour son encadrement, ses conseils, son expérience et ses nombreuses relectures. Je la remercie également pour m'avoir donné l'occasion de participer à certaines activités terrains m'ayant permis de découvrir le conseil en élevage.

Je remercie Éric BERTRAND, qui a co-encadré ce stage, pour son expérience et pour m'avoir aidé dans l'approche technique et scientifique.

Je voudrais aussi remercier Pierre-Guy MARNET, mon tuteur au sein d'Agrocampus-Ouest, pour le suivi du bon déroulement du stage ainsi que pour ses conseils et réflexions sur la physiologie caprine.

Mes remerciements vont également à Clément FAVIER pour la disponibilité qu'il m'a accordée et pour son aide très précieuse sur les traitements statistiques.

Je souhaite également remercier Yannick BLANC et Sylvie DEMOULIN pour avoir répondu à toutes mes questions durant ce stage, ainsi que pour leurs réflexions partagées et leurs bons conseils. Ce fut vraiment très agréable de travailler avec eux au quotidien.

Un grand merci aux membres de l'équipe, à savoir Nathan POULIQUEN, pour son aide sur les questions d'alimentation caprine et sur l'analyse individuelle des exploitations, sans oublier Benjamin ROCHE, Fabienne PROMAYON et Solenne LEGROS pour avoir volontiers partagé leurs connaissances sur le terrain.

Je remercie donc toute l'équipe de Drôme Conseil Élevage pour leur gentillesse, pour tous les bons moments passés ensemble et pour m'avoir permis de faire des rencontres formidables.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE DE L'ÉTUDE.....	2
1.1. Principe du métabolisme azoté chez les ruminants.....	2
1.2. Lien entre le taux d'urée du lait et l'urémie.....	2
1.3. Pourquoi s'intéresser à l'urée du lait ?	2
1.3.1. Faciliter les prélèvements	2
1.3.2. Évaluer l'équilibre des apports énergétiques et azotés de la ration.....	3
1.3.2.1. Grâce aux bilans PDI.....	3
1.3.2.2. Grâce à un indicateur de l'efficacité azotée et à la MAT.....	3
1.3.2.3. Grâce au rapport microbien.....	4
1.3.3. Limiter les rejets environnementaux.....	4
1.3.4. Déterminer l'état de santé de l'animal à l'aide de classes	5
1.4. Origine de la demande sur l'étude de l'urée du lait en caprin en Rhône-Alpes.....	5
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	5
2.1. Mise en œuvre de l'étude et récolte des données	5
2.1.1. Pré-étude de calibration des analyseurs	5
2.1.2. Schéma expérimental et données collectées.....	6
2.2. Conception des deux bases de données pour analyser à différentes échelles.....	6
2.2.1. Analyse individuelle du taux d'urée du lait	6
2.2.2. Analyse croisée entre l'urée et les valeurs alimentaires des rations	6
2.2.2.1. Sélection des exploitations et création de catégories laitières.....	6
2.2.2.2. Analyse des variations de l'urée « à dire d'expert »	7
2.3. Méthodes statistiques de traitement des données.....	7
2.3.1. Répartition du taux d'urée et recherche de zones de confort	7
2.3.2. Recherche des facteurs zootechniques influençant le taux d'urée.....	8
2.3.3. Analyse du lien entre l'urée et les autres variables et du rapprochement des individus.....	8
3. RESULTATS.....	9
3.1. Analyse de la répartition du taux d'urée du lait.....	9
3.1.1. Répartition bimodale du taux d'urée du lait.....	9
3.1.2. Répartition de l'urée selon les exploitations.....	9
3.2. Liens entre l'urée et les facteurs zootechniques.....	9
3.2.1. Recherche des corrélations sur l'ensemble des chèvres	9
3.2.2. Analyse de la variabilité entre individus regroupés par classes d'urée.....	10
3.2.3. Recherche d'une interaction grâce à un modèle de régressions multiples.....	10
3.3. Recherche et caractérisation des zones de confort du taux d'urée du lait.....	10
3.3.1. Détermination des limites des zones.....	11
3.3.2. Caractéristiques des différentes zones.....	11
3.4. Effet des mois de l'année sur les variations du taux d'urée.....	11
3.4.1. Des variations identiques malgré des systèmes d'élevage différents.....	11
3.4.2. Influence des mois de l'année sur les résultats déjà établis	12
3.5. Impacts des facteurs alimentaires sur le taux d'urée du lait	12

3.6. Analyses individuelles des exploitations « à dire d'expert »	13
3.6.1. Augmentation de l'urée au cours de la lactation	13
3.6.2. Diminution de l'urée au cours de la lactation.....	14
4. DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES	14
4.1. Nouvelle vision sur le déroulement de l'étude	14
4.1.1. Proposition concernant le protocole expérimental.....	14
4.1.2. Optimisation du suivi de l'expérimentation.....	15
4.2. Réflexions sur le manque de corrélations observé	15
4.2.1. Hypothèses sur la bimodalité de la courbe de répartition de l'urée.....	15
4.2.2. Réflexions sur les manques de significativité.....	16
4.2.2.1. <i>Limite floue entre les facteurs zootechniques et alimentaires</i>	16
4.2.2.2. <i>Alimentation basée sur la chèvre cible</i>	17
4.2.2.3. <i>Contrôle hormonal du métabolisme protéique</i>	17
4.2.2.4. <i>Calibration et valeurs seuils des analyseurs</i>	17
4.3. Retour sur l'effet saison	17
4.3.1. Un effet déjà observé en Poitou-Charentes.....	17
4.3.2. Un effet observé identique malgré des différences spatio-temporelles.....	18
4.3.3. Des variations saisonnières à l'image du taux butyreux	18
4.4. Perspectives d'utilisation à des fins de conseils techniques	18
4.4.1. Une utilisation différente pour chaque exploitation	18
4.4.2. D'autres utilisations de l'urée du lait en exploitation caprine	19
4.4.2.1. <i>Une aide dans la transformation fromagère</i>	19
4.4.2.2. <i>Des impacts possibles sur la reproduction</i>	19
CONCLUSION	20
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	21
ANNEXES	23

Table des figures

Figure 1 : Métabolisme azoté et protéique chez les ruminants.....	2
Figure 2 : Équation écrite par Brun-Bellut en 1986 sur la corrélation entre le taux d'urée du lait et l'urémie chez les caprins.....	2
Figure 3 : Relation entre la teneur en urée du sang ou du lait et efficacité azotée appréciée par le rapport entre les protéines ingérées et les protéines sécrétées dans le lait chez la chèvre (Sauvant <i>et al.</i> , 2012).....	3
Figure 4 : Relation entre l'efficacité de l'utilisation de l'azote ingérée (N du lait / N ingérée %) et la teneur en urée du lait (Rapetti <i>et al.</i> , 2009).....	3
Figure 5 : Relation entre la teneur en urée du lait et la teneur en protéines brutes de la ration (Rapetti <i>et al.</i> , 2009).....	4
Figure 6 : Relation entre le taux d'urée du lait et les protéines digestibles dans l'intestin (Rapetti <i>et al.</i> , 2009).....	4
Figure 7 : Protocole réalisé pour le suivi expérimental et la récolte des données.....	6
Figure 8 : Répartition bimodale du taux d'urée du lait de chèvre, tous contrôles compris.....	9
Figure 9 : Observation de l'urée en fonction des exploitations, mis en relation avec la quantité de lait journalière en fonction des exploitations.....	9
Figure 10 : Graphique des variables quantitatives physiologiques de l'ACP indiquant les corrélations.....	9
Figure 11 : Graphique des individus de l'ACP coloriés selon les saisons.....	10
Figure 12 : Graphiques des individus réparties selon les catégories urées, les races, et la saisonnalité.....	10
Figure 13 : Graphique des individus coloriés selon le rapport TB/TP.....	10
Figure 14 : Boxplot décrivant la répartition de l'urée en fonction des quartiles	11
Figure 15 : Représentation du rapport TB/TP en fonction de l'urée.....	11
Figure 16 : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année.....	11
Figure 17a : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année pour les chèvres fonctionnant en système saisonné.....	11
Figure 17b : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année pour les chèvres fonctionnant en système désaisonné.....	11
Figure 18a : Moyenne du taux d'urée en fonction du stade de lactation (par mois) pour les chèvres fonctionnant en système saisonné.....	12

Table des figures (suite)

Figure 18b : Moyenne du taux d'urée en fonction du stade de lactation (par mois) pour les chèvres fonctionnant en système désaisonné.....	12
Figure 19 : Moyenne des données tank de sept exploitations en fonction des mois de l'année...	12
Figure 20 : Représentation du taux de MAT moyen en fonction de l'urée.....	13
Figure 21 : Détails des variations de l'urée en fonction de la MAT selon les contrôles et les catégories de production laitière pour l'exploitation fonctionnant en système saisonné.....	13
Figure 22 : Détails des variations de l'urée en fonction de la MAT selon les contrôles et les catégories de production laitière pour l'exploitation fonctionnant en système désaisonné.....	14
Figure 23 : Résultats de l'étude réalisée par le contrôle laitier de Poitou-Charentes sur le taux d'urée du lait en chèvre laitière en fonction des mois de l'année, chaque courbe représentant un système alimentaire différent.....	17
Figure 24 : évolution du TB et du TP pour les systèmes saisonnés désaisonnées en fonction des mois de l'année.....	18

Table des tableaux

Tableau 1 : Expressions des paramètres et dénominations utilisées.....	6
Tableau 2 : Liste des variables utilisées dans les analyses statistiques mises en relation avec le taux d'urée du lait.....	7
Tableau 3 : Matrice des corrélations entre l'urée et les variables.....	10
Tableau 4 : Effet des facteurs alimentaires sur le taux d'urée du lait (interaction entre deux facteurs étudiés).....	13
Tableau 5 : Description des rations à chaque contrôle et valeur de MAT des aliments pour l'exploitation fonctionnant en système saisonné.....	13
Tableau 6 : Description des rations à chaque contrôle et valeur de MAT des aliments pour l'exploitation fonctionnant en système désaisonné.....	14
Tableau 7 : Matrice des corrélations entre le taux d'urée du lait et les facteurs zootechniques sur des stades de lactation moyens des chèvres de l'étude de Rapetti <i>et al.</i> , 2009.....	16

Table des Annexes

Annexe I : Schéma simplifié du cycle de l'azote dans l'environnement	23
Annexe II : Calcul de la quantité de fourrage réellement ingérée par la chèvre à l'aide de la capacité d'ingestion.....	24
Annexe III : Détails des variations autour d'un boxplot.....	25
Annexe IV : Répartition du taux d'urée du lait selon différents critères	26
Annexe V : Recherche des caractéristiques des catégories extrêmes	27
Annexe VI : Graphiques de l'ACP comparant les variables zootechniques dans le but d'établir des corrélations	28
Annexe VII : Graphiques de l'ACP où les individus sont regroupés par catégories d'urée.....	30
Annexe VIII : Détails et explications de la régression multiple.....	31
Annexe IX : Détails et explications de la nouvelle régression multiple	35
Annexe X : Répartition de l'urée selon les mois de l'année	36
Annexe XI : Urée fonction des facteurs alimentaires.....	37
Annexe XII : Exemple d'une fiche référence.....	39

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : ANalysis Of VAriance

CB : Cellulose Brute

CI : Capacité d'Ingestion

DAC : Distributeur automatique de concentré

FIDOCL : Fédération Interdépartementale des Entreprises de Conseil Elevage

IndProd : Indicateur de l'efficacité de la transformation des protéines alimentaires en protéines du lait = $(\text{Protéines Brutes Ingérées})/(\text{Protéines sécrétées dans le Lait})$

LS : Lait Standard

MAT : Matière Azotée Totale

MIR : Mid-IR = Spectrométrie en moyen infrarouge

MS : Matière Sèche

NDF : Neutral Detergent Fiber = hemicellulose + cellulose + lignine

NEC : Note d'Etat Corporelle

PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle

PDIE: Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'énergie apporté par l'aliment

PDIN : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'azote apporté par l'aliment

PEP : Pôles d'Expérimentation et de Progrès de Rhône-Alpes

PLB : Production Laitière Brute

PV : Poids Vif

Rmic : Rapport microbien = $(\text{PDIN}-\text{PDIE})/\text{UFL}$

SIECL : système d'information de l'élevage caprin laitier

SYSCARE : SYStèmes Caprins d'Alimentation Respectueux de l'Environnement

TB : Taux Butyreux

TP : Taux Protéique

UEL : Unité d'Encombrement Lait

UFL : Unité Fourragère Lait

INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, le secteur caprin a beaucoup évolué notamment dans la gestion de l'alimentation, dans les techniques pour réduire le coût de production et dans la volonté d'augmenter la taille des ateliers de production (Morand-fehr *et al.*, 2012). Les productions laitières et fromagères ont pris une valeur centrale dans la gestion et la rentabilité des élevages (Rapetti *et al.*, 2013). Dans l'analyse de la production laitière, le taux d'urée du lait, utilisé depuis quelques années dans le pilotage de production des vaches laitières, est un indicateur qui suscite un intérêt grandissant de la part du secteur caprin et de la recherche.

Aujourd'hui les préoccupations environnementales sont au cœur des pratiques agricoles et des élevages, et la quantité d'azote rejeté dans l'environnement est fortement surveillée. Un animal qui présente un taux d'urée du lait élevé, rejette une plus grande quantité d'azote dans ses urines. Ainsi l'urée du lait pourrait être un outil important dans le contrôle de la pollution environnementale par les matières azotées (Block *et al.*, 1998).

L'analyse de l'urée du lait est d'autant plus intéressante par son potentiel d'évaluation de la stratégie alimentaire. L'urée constitue le principal déchet du métabolisme azoté, il s'agit d'un composé non protéique produit dans le rumen par la dégradation des protéines alimentaires. Ainsi des concentrations anormales d'urée du lait pourraient révéler une mauvaise utilisation de ces protéines (Mendoza, 2007). L'urée du lait s'avère être un outil utile pour évaluer l'équilibre entre les apports d'énergie et de protéines dans le rumen et ainsi déterminer les dysfonctionnements nutritionnels. Cet équilibre est indispensable à une alimentation efficace et à une production laitière optimale. En effet, optimiser l'efficacité d'utilisation des protéines est un enjeu fort de la nutrition des ruminants (Sauvant *et al.*, 2015) où l'objectif est de réduire les coûts engendrés par une suralimentation en évitant un gaspillage de protéines et d'éléments azotés.

Les études réalisées en bovin par la FIDOCL (Fédération Interdépartementale des Organismes de Conseil Élevage) sur la période 2009-2011 ont montré que des liens existaient entre le taux d'urée du lait et l'alimentation des vaches laitières (Bertrand, 2013). Les éleveurs caprins étaient alors demandeurs d'information sur ce sujet pour évaluer une transposition des résultats à l'espèce caprine. Une étude similaire sur l'utilisation du taux d'urée du lait comme indicateur a donc été conduite en caprin.

Dans cette étude, le travail a été mené à partir d'une base de données issue de dix-huit exploitations commerciales de Rhône-Alpes où les prélèvements ont été effectués sur une période de dix-huit mois. L'objectif est alors de rechercher **les facteurs zootechniques et les conduites alimentaires susceptibles d'affecter les taux d'urée du lait, ceci afin de pouvoir utiliser cet indicateur comme aide au diagnostic sur la conduite alimentaire des chèvres laitières.**

Le travail vise à déterminer les facteurs zootechniques et alimentaires qui font varier le taux d'urée du lait. Inspiré de l'expérimentation menée en bovin, il s'agira également de voir s'il est possible de déterminer une zone de confort en urée du lait dans laquelle la chèvre doit se situer pour répondre à ces objectifs de production et de réduire l'utilisation des sources protéiques. Une fois ces zones déterminées, nous tenterons de mesurer l'impact des différents facteurs sur ces zones. Enfin, un travail sera réalisé à l'échelle de l'exploitation, pour essayer d'expliquer les variations du taux d'urée du lait au sein même des exploitations.

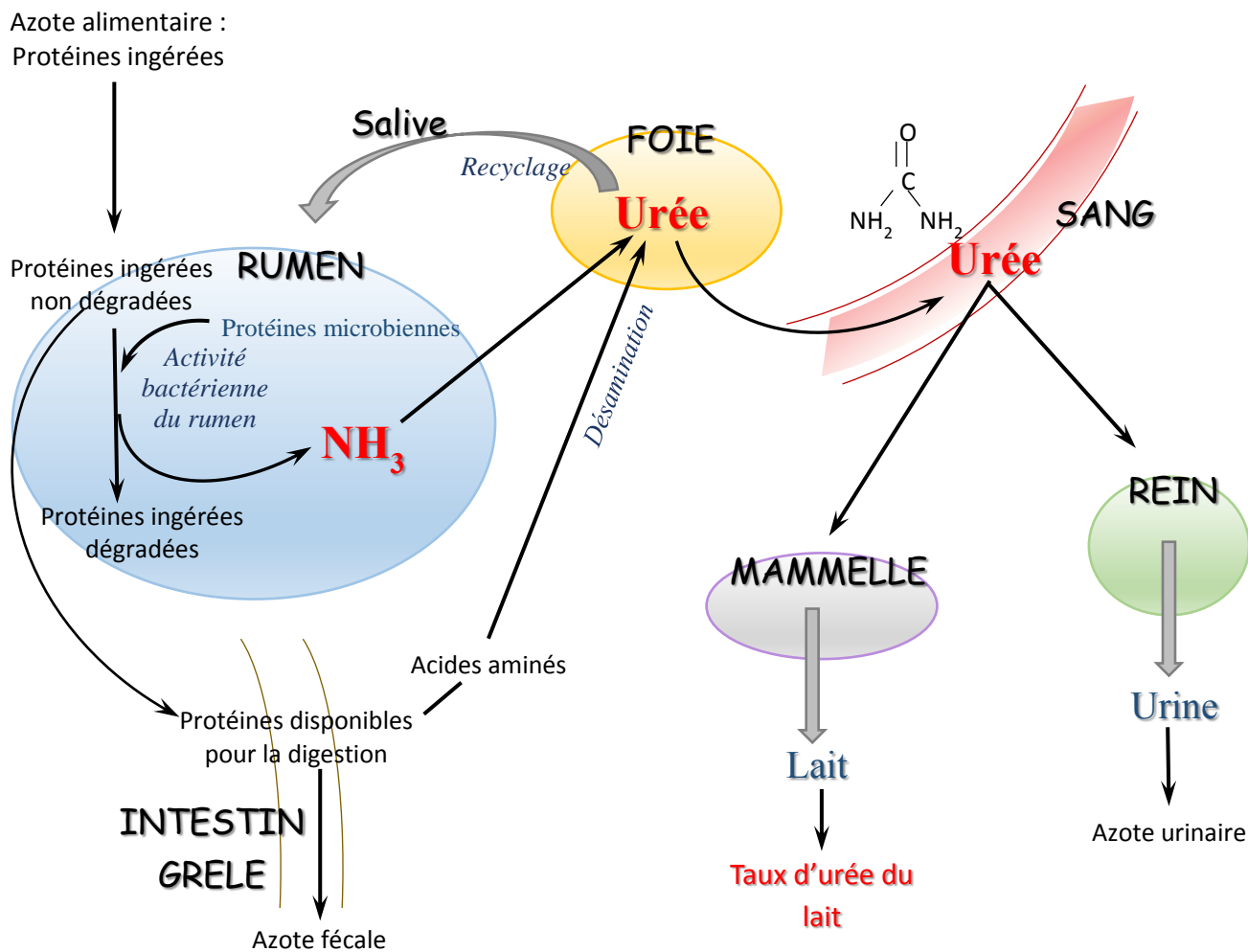


Figure 1 : Métabolisme azoté et protéique chez les ruminants.

$$\text{Taux d'Urée du Lait (mg/L)} = 0,49 \text{ Urémie (mg/L)} + 183,2 ; R=0,69 ; n=45$$

Figure 2 : Équation écrite par Brun-Bellut en 1986 sur la corrélation entre le taux d'urée du lait et l'urémie chez les caprins.

1. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE DE L'ÉTUDE

1.1. Principe du métabolisme azoté chez les ruminants

L'urée ($\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2$) est l'un des produits terminaux du métabolisme azoté. Sa concentration journalière varie selon différents facteurs : la quantité d'urée synthétisée, l'espace de diffusion de l'urée qui s'accroît avec le poids vif de l'animal et diminue lorsque la proportion de lipides augmente, et enfin la vitesse à laquelle l'urée est éliminée par le rein ou clairance (Farverdin et Verite, 1998).

Chez les ruminants, l'urée a deux origines possibles : l'ammoniac du rumen et le catabolisme des acides aminés dans l'organisme (*figure 1*) (Farverdin et Verite, 1998). Dans le rumen, la dégradation des protéines, par activité bactérienne des protéines microbiennes du rumen, permet la synthèse d'ammoniac qui n'est pas utilisé par les bactéries. Plus précisément, il provient de la dégradation de la fonction amine des aliments digérés dans le rumen. L'ammoniac diffuse à travers la paroi et passe dans la circulation sanguine. Il est ensuite transformé en urée au niveau du foie. L'urée d'origine ruminale est fonction de l'excès d'azote dégradé dans le rumen (Farverdin et Verite, 1998).

Une fois ingérées, les protéines non dégradées dans le rumen sont dirigées vers l'intestin grêle. Les acides aminés sont absorbés à travers la paroi du système gastro-intestinale. Ils rejoignent ensuite les cellules des différents tissus via le foie et participent au renouvellement des protéines liées aux besoins d'entretien. Ce métabolisme conduit à un catabolisme important des acides aminés et à la formation d'urée (Farverdin et Verite, 1998). Chez les jeunes ruminants, la désamination et la production d'urée est réduite grâce à une plus grande efficacité aminocidique des jeunes tissus qui grandissent (Mendoza, 2007 ; Wattiaux, 2005).

Le foie transforme donc les surplus d'azote provenant de ces deux voies en urée puis l'excrète. L'urée peut également être recyclée vers le rumen via la salive et y être utilisée comme source d'azote pour les microorganismes (Lefebvre et Lacroix, 2010). Une partie de l'urée est transportée dans le sang vers le rein avant d'être excrétée dans l'urine. L'autre partie diffuse librement dans tout l'espace aqueux de l'organisme du fait de sa grande solubilité y compris le lait (Farverdin et Verite, 1998).

1.2. Lien entre le taux d'urée du lait et l'urémie

Le taux d'urée du lait est représentatif de l'urémie chez les ruminants. Pour l'espèce caprine, l'urémie et le taux d'urée du lait sont corrélés avec l'équation décrite en figure 2.

Un délai existe entre la variation de concentration de l'urée du sang et celle du lait. La concentration sanguine fluctue au cours de la journée, notamment en fonction des repas. La concentration d'urée du lait est donc le reflet de la concentration sanguine moyenne depuis la dernière traite (Lefebvre et Lacroix, 2010). L'utilisation de l'urée du lait permet donc d'avoir une indication assez précise de l'urémie grâce à la corrélation existante.

1.3. Pourquoi s'intéresser à l'urée du lait ?

1.3.1. Faciliter les prélèvements

Le dosage de l'urée du lait a de multiples avantages : il est plus simple, plus rapide et moins coûteux que la mesure de l'urémie. De plus, il peut être réalisé par le technicien chargé de

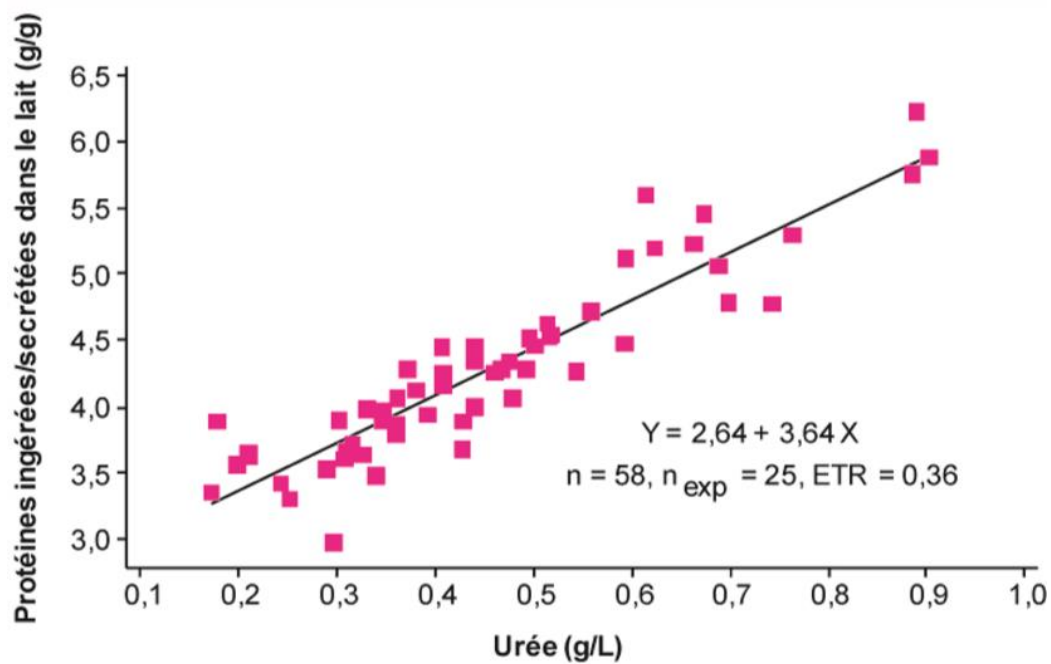
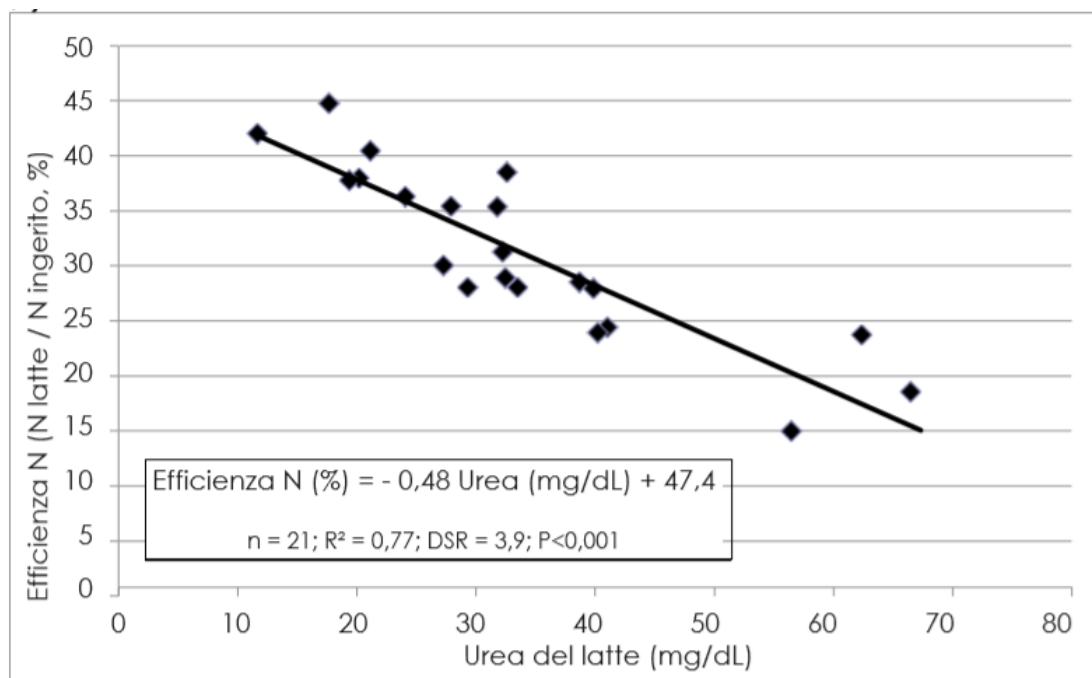


Figure 3 : Relation entre la teneur en urée du sang ou du lait et efficacité azotée appréciée par le rapport entre les protéines ingérées et les protéines sécrétées dans le lait chez la chèvre (Sauvant *et al.*, 2012).



Efficienza N = efficacité azoté ; N latte = azote du lait ; N ingerito = azote ingéré ; Urea del latte = Urée du lait.

Figure 4 : Relation entre l'efficacité de l'utilisation de l'azote ingérée (N du lait / N ingérée %) et la teneur en urée du lait (Rapetti *et al.*, 2009).

la récolte des échantillons, il n'y a donc pas la nécessité de faire appel à du personnel supplémentaire. Enfin, le prélèvement n'est pas stressant pour l'animal (Block *et al.*, 1998).

1.3.2. Évaluer l'équilibre des apports énergétiques et azotés de la ration

1.3.2.1. Grâce aux bilans PDI

En 1998, Favardin et Vérité affirment que la teneur en urée du lait peut servir à dépister les déséquilibres azotés importants de la ration. Des essais sur les bovins leur ont permis d'établir le modèle suivant :

Urée (mg/dl) = 10,9 + 0,028(apport PDI – besoins PDI) + 0,039(apport PDIN – apport PDIE) + 0,37(Production laitière dl) ; R²=0,73 ; n=127.

Mais ils nuancent leur propos en énonçant qu'une valeur proche de celle attendue ne garantit pas que la ration soit équilibrée. Selon eux, le taux d'urée dans le sang est beaucoup plus important en début de lactation et l'effet individu est à prendre en compte. La ration n'est donc pas l'unique facteur de variation de l'urée.

Dans une conférence sur l'urée du lait, Block affirme en 1998 que le niveau d'énergie influence l'urée négativement, une augmentation de l'apport énergétique de la ration provoque une baisse de l'urée. Le ratio protéine/énergie semble être le facteur nutritionnel ayant le plus d'impact sur le taux d'urée (Block, 1998). En effet, une corrélation positive a été trouvée entre l'urée du lait et ce ratio (Mendoza, 2007 ; Broderick et Clayton, 1997). En ajustant les niveaux protéiques de la ration, un gain économique peut être réalisé sur l'alimentation. De plus, une ration correspondant aux besoins de l'animal limite le gaspillage azoté, et contribue à son bien-être.

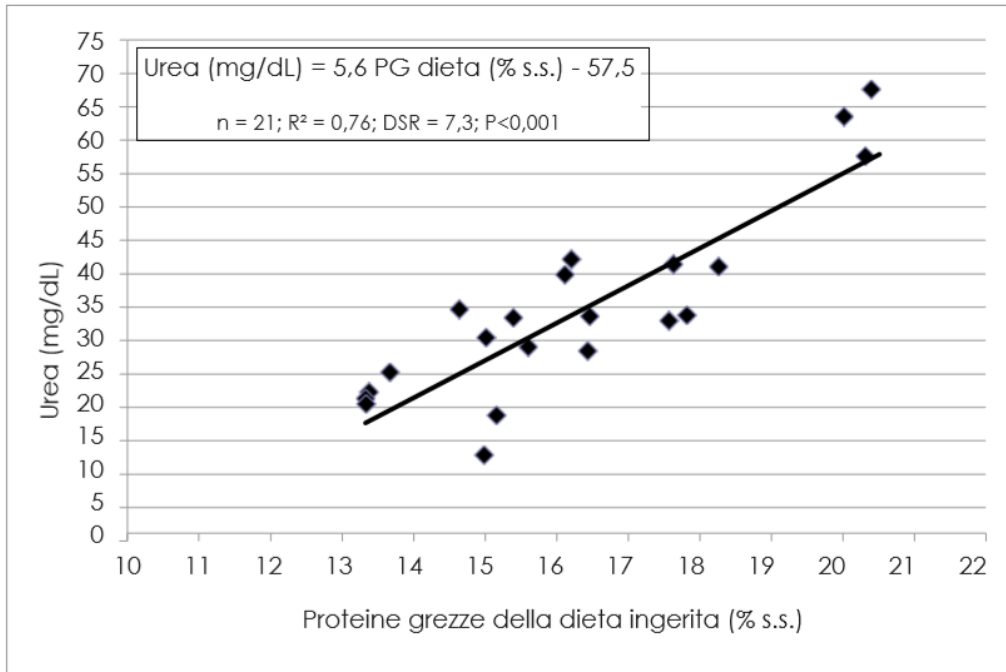
Même si les caprins sont des ruminants comme les bovins, des différences existent, notamment au niveau métabolique. La chèvre peut s'adapter à des rations différentes en PDIN, et est capable de valoriser des fourrages pauvres en azote. Elle a une capacité supérieure aux autres ruminants à recycler l'urée et une capacité d'adaptation forte par rapport aux contraintes du milieu. Si la ration est déficitaire en azote, elle va recycler l'urée et, à l'inverse, si la ration est riche en azote, ce recyclage va être limité (Protat, 2003). De plus, les taux d'urée du lait en caprins sont plus élevés que ceux observés chez les bovins, les résultats sont compris entre 220 et 280 mg/L pour les vaches laitières, tandis qu'ils sont compris entre 400 et 600 mg/L pour les chèvres laitières.

1.3.2.2. Grâce à un indicateur de l'efficacité azotée et à la MAT

Chez la chèvre laitière, l'efficacité azotée est d'autant meilleure que le taux de MAT est faible et que la production de lait est élevée (Sauvant *et al.*, 2012). Sauvant *et al* (2012) ont défini un indice, IndProt, qui permet de mesurer l'efficacité de la transformation des protéines alimentaires en protéines du lait. IndProd correspond donc au rapport entre les protéines brutes ingérées et les protéines sécrétées dans le lait. Les variations de cet indice sont principalement expliquées par le taux de MAT du régime et la production laitière brute (PLB en kg/j) :

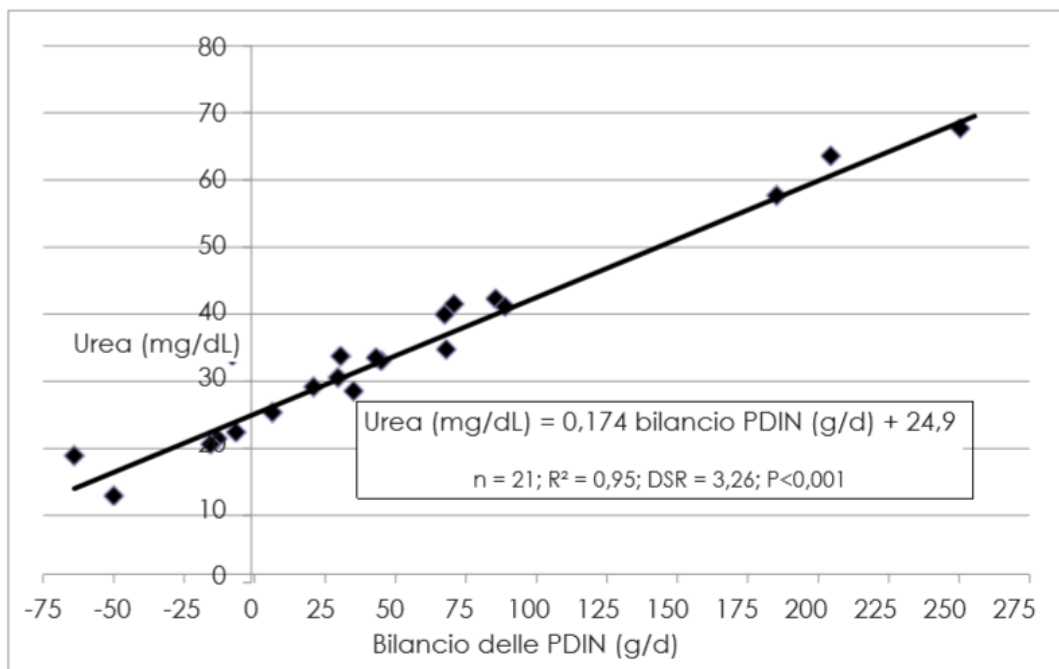
IndProd = 5,56 + 0,27MAT%MS – 3,22 PLB + 0,38 PLB² ; n=223.

Cet indice dépend de la teneur en urée du lait ou du plasma comme le montre la figure 3. Ce lien entre l'efficacité azotée et l'urée du lait est également présent dans une étude réalisée en Italie, où le rapport est inversé (*figure 4*) (Rapetti *et al.*, 2009). L'étude est faite sur l'azote présent



Proteine grezze della dieta ingerita (PG dieta) = Protéines brutes ingérées ; s.s. = MS

Figure 5 : Relation entre la teneur en urée du lait et la teneur en protéines brutes de la ration (Rapetti *et al.*, 2009).



Bilancio delle PDIN = bilan des PDIN

Figure 6 : Relation entre le taux d'urée du lait et les protéines digestibles dans l'intestin (Rapetti *et al.*, 2009).

dans le lait/l'azote ingéré, ce qui correspond dans l'étude précédente à 1/IndProd, d'où la décroissance de la courbe en figure 4.

Dans ces deux études, les auteurs trouvent une relation étroite entre l'urée et le pourcentage de MAT du régime :

Urée (mg/L) = - 338 + 51,7MAT%MS (n=87, n_{exp}=35, ETR=52,6). (Relation valable pour MAT%MS compris entre 7 et 25 (Sauvant *et al.*, 2012),

Urée (mg/dL) = 5,6MAT%MS – 57,5 (figure 5) (Rapetti *et al.*, 2009).

Le problème est alors de définir la teneur en protéines à fournir à l'animal sans que celle-ci soit en excès, en utilisant comme indicateur le taux d'urée du lait. La relation entre le bilan des PDIN et les teneurs en urée du lait est alors évaluée car il est difficile d'établir les besoins réels de l'animal en MAT. Selon Rapetti *et al.*, la modification du bilan PDIN arrive à expliquer presque complètement les variations de l'urée du lait (figure 6), en effet la corrélation est significative avec un R² égale à 0,95. D'après ce graphique, l'équilibre parfait entre les apports et les besoins correspond à une concentration d'urée du lait égale à 250mg/L. La plage d'urée retenue est de 230 à 340 mg/L.

1.3.2.3. Grâce au rapport microbien

Il est important de souligner que le fait d'avoir un taux d'urée du troupeau dans la plage définie ne garantit pas d'avoir un apport de protéines digestibles idéales, il faut alors comparer les PDIN et PDNIE en veillant à ce que la différence ne dépasse pas 5% de valeur relative. Cette condition garantie alors un équilibre entre les matières organiques fermentescibles et l'azote dégradable dans le rumen (Rapetti *et al.*, 2009). Si les PDIN sont supérieurs aux PDIE, une partie de l'azote n'est pas valorisée et se retrouve sous forme d'urée.

On peut également illustrer cet équilibre avec le Rapport Microbien (Rmic= (PDIN-PDIE)/UFL). Cet indicateur est révélateur de l'équilibre des apports énergétiques et azotés et doit se situer entre 5 et 15, il varie selon le type de ration et le stade de lactation de la chèvre. Un Rmic trop élevé, supérieur à 20, entraîne souvent un trop d'urée élevé, supérieur à 600 mg/L, ce qui démontre un gaspillage d'azote important. À l'inverse, un Rmic négatif est révélateur d'un manque d'azote fermentescible important. Au niveau du rumen la synthèse microbienne est alors limitée, ce qui impact négativement la production laitière. Le Rmic semble être un bon prédicteur de la concentration en urée du lait (Lagriffoul *et al.*, 1999). En effet, une étude sur les Brebis laitières a permis d'établir une relation entre ces deux facteurs (Lagriffoul *et al.*, 1999) :

Taux d'urée du lait (mg/L) = 13,4Rmic + 377, R² = 0,9 ; n=6 ;

Où Rmic (g PDI/UFL/jour) = (PDIN – PDIE)/UFL

Brun-Bellut avait également démontré en 1986 une corrélation entre l'urée du lait et le Rmic chez les chèvres laitières, établissant ainsi la relation suivante :

Urée du lait (g/L) = 0,285 + 0,003 Rmic + 0,113 Excès N, R²=0,59 ; n=281 ;

Où Rmic (g PDI/UFL) = (PDIN – PDIE)/UFL et Excès N (g N/kgP^{0,75}) = (N digéré – N lait)/ P^{0,75}.

1.3.3. **Limiter les rejets environnementaux**

Plusieurs auteurs ont démontré une corrélation entre l'urée du lait et l'azote urinaire :

N urinaire (g/j) = 3,67 + 0,67Taux d'urée du lait R²=0,64 ; n=14 (Ciszut *et al.*, 1994).

N urinaire (g/j) = 0,51 + urée (mg/dl) – 0,012 R²=0,90 ; n=21 (Rapetti *et al.*, 2009).

L'assimilation d'une protéine alimentaire qui va au-delà des besoins réels de l'animal n'est pas en mesure d'améliorer la production laitière, mais provoque un rejet d'azote dans l'environnement (Rapetti *et al.*, 2009). La valorisation de l'urée du lait comme outil de pilotage économique de l'alimentation des chèvres laitières peut avoir également un enjeu environnemental : limiter les rejets inutiles dans l'environnement. L'élevage, et notamment l'urée rejetée par les animaux, impacte le cycle de l'azote (*annexe I*). Un contrôle sur le taux d'urée du lait pourrait donc modérer un gaspillage inutile des ressources économiques.

1.3.4. Déterminer l'état de santé de l'animal à l'aide de classes

Des classes d'urée ont été déterminées chez les bovins (Bertrand et Dubois, 2011). Quatre catégories « urée » ont été définies : urée haute, urée basse, urée variable et zone de confort. Dans les trois premières, la vache possède des troubles métaboliques ou un état dit « mauvaise santé ». La zone de confort de l'urée, c'est-à-dire une urée du lait stable compris entre 200 et 300 mg/L, correspond à un état où la vache est en bonne santé et permet d'exprimer son potentiel de production. La question s'est alors posée de valoriser la donnée « urée » en production caprine.

Ces résultats ont montré une utilisation pratique de l'urée du lait en bovin. Face à ces constats, nous nous demandons s'il est possible de retrouver certaines de ces corrélations chez d'autres ruminants. L'intérêt de l'indicateur urée a été démontré de nombreuses fois dans la gestion pratique des troupeaux bovins laitiers. Nous avons donc voulu voir s'il pouvait s'utiliser de la même manière en caprin pour fournir aux éleveurs et aux conseillers un indicateur supplémentaire dans la gestion des troupeaux caprins.

1.4. Origines de la demande sur l'étude de l'urée du lait en caprin en Rhône-Alpes

Jusqu'à aujourd'hui, les travaux sur la valorisation de l'azote n'ont été menés pratiquement que dans des exploitations expérimentales. Récemment, le PEP caprin, dans le cadre du projet « Syscare », a établi une fiche de recommandation du taux d'urée d'un lot de chèvre, où la plage urée variait entre 300 et 600 mg/L. Dans l'étude menée en FIDOCL, il s'agit de voir si ces données issues d'exploitations expérimentales peuvent être retrouvées en fermes commerciales.

En Rhône-Alpes, les départements de Savoie et de Haute-Savoie utilisent déjà les données individuelles « urée du lait », et réalisent un suivi urée pour les éleveurs adhérents au contrôle laitier. Ces données individuelles sont ensuite retravaillées par lot d'animaux et comparées d'une année sur l'autre au sein d'un même élevage. Suite aux études sur l'urée en bovins, les conseillers caprins sont demandeurs d'une analyse plus fine de la plage urée caractérisée par le PEP, permettant d'identifier les liens entre urée et données de production afin de piloter économiquement la ration.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Mise en œuvre de l'étude et récolte des données

2.1.1. Pré-étude de calibration des analyseurs

L'étude a démarré en avril 2014, il s'agissait alors de valider l'analyse MIR (Spectrométrie en moyen infrarouge) pour des échantillons de lait en espèce caprine. Réalisée au niveau du laboratoire Galilait, l'objectif était de comparer la méthode d'analyse de l'urée par Infra Rouge (IR) à la méthode de référence, pH-métrie différentielle. La méthode par IR, calibrée pour les

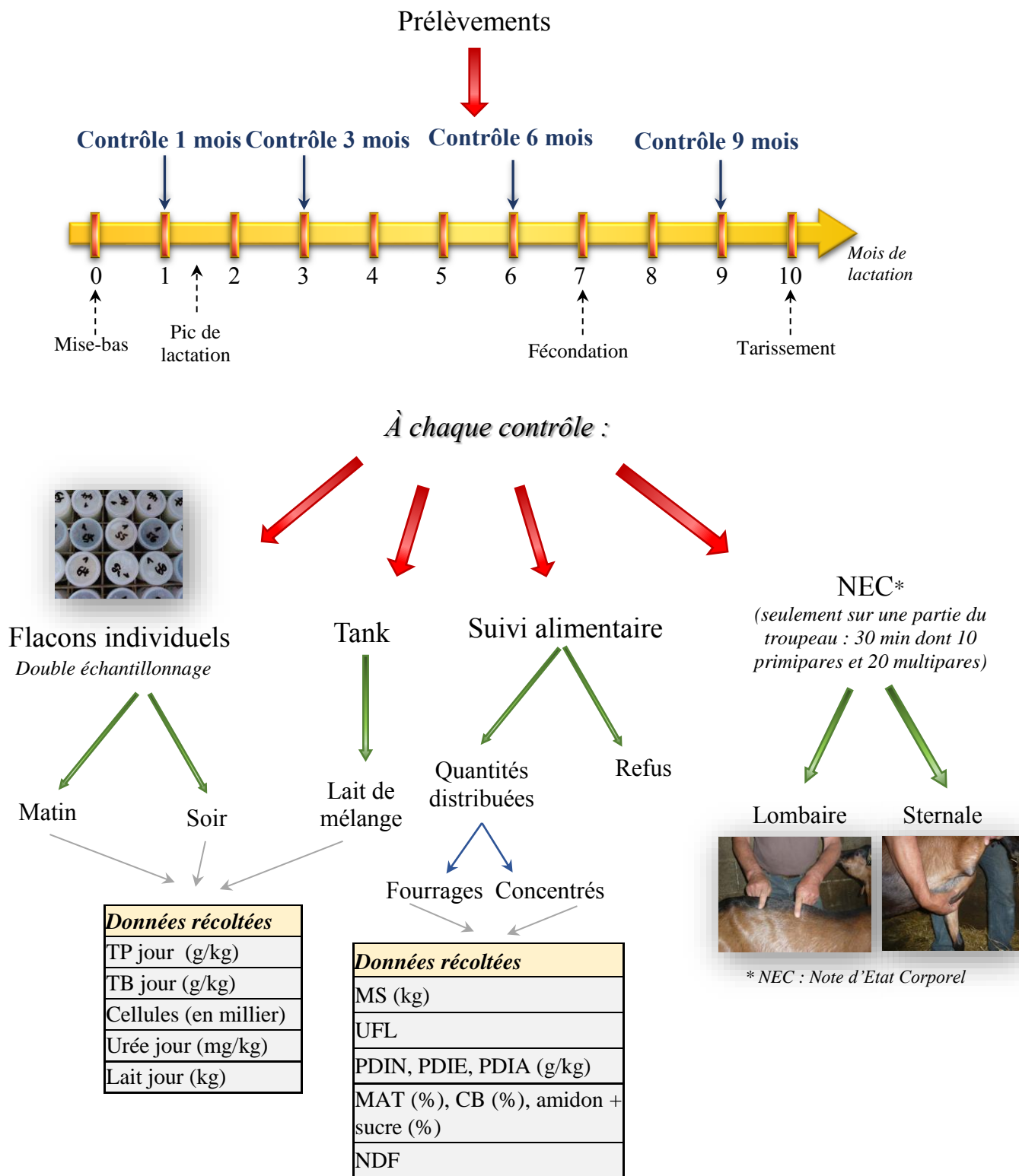


Figure 7 : Protocole réalisé pour le suivi expérimental et la récolte des données.

Paramètres	Dénominations utilisées	Formules
Quantité de Lait totale journalière (kg)	= Lait jour	= Lait matin + Lait soir
TB (g/kg)	= TB jour	= (TB soir * Lait soir + TB matin * Lait matin)/Lait totale
TP (g/kg)	= TP jour	= (TP soir * Lait soir + TP matin * Lait matin)/Lait totale
Urée (mg/kg)	= Urée jour	= (Urée soir * Lait soir + Urée matin * Lait matin)/Lait totale

Tableau 1 : Expressions des paramètres et dénominations utilisées.

vaches laitières, surestimait les taux d'urée de 20%. Une nouvelle calibration pour l'espèce caprine a alors été effectuée.

2.1.2. Schéma expérimental et données collectées

Sur la campagne laitière 2014-2015, dix-huit mois de suivi expérimental ont permis la récolte des résultats et la création de la base de données. Les enquêtes sont réalisées sur dix-huit exploitations laitières avec la répartition suivante : cinq dans la Drôme, cinq en Ardèche, deux en Isère, deux dans la Loire, deux dans le Rhône et enfin deux en Saône-et-Loire. La variabilité entre les exploitations porte sur différents critères :

- Le système alimentaire (foin de prairies naturelles / pâture / foin de luzerne / autres, etc.),
- Le niveau de production,
- La saisonnalité : mises bas à l'automne (désaisonnées) ou au printemps (saisonnées)
- La race : Alpine, Saanen.

Pour limiter la variabilité, toutes les exploitations n'auront qu'une saison de mises-bas. Quatre passages sont effectués pour prélèvements des échantillons : le premier au 1^{er} mois de lactation, le deuxième au 3^{ème} mois, le troisième au 6^{ème} mois, et le dernier au 9^{ème} mois (*figure 7*). Toutes les données journalières sont calculées en fonction des données des échantillons du matin et de ceux du soir (*tableau 1*).

2.2. Conception des deux bases de données pour analyser à différentes échelles

2.2.1. Analyse individuelle du taux d'urée du lait

La première base de données est une compilation des données récoltées séparément par chaque technicien : les caractéristiques individuelles des chèvres, les analyses des échantillons de lait et les données alimentaires de chaque troupeau.

À cause des différentes périodes de mises-bas, les données sont récoltées sur dix-huit mois pour avoir une lactation complète par exploitation. La demi-lactation supplémentaire a été enlevée. Certaines données ont également été ajoutées telles que le stade de lactation (en jour et en mois), la race, la saisonnalité, le numéro du contrôle.

Pour les analyses, les lactations longues et les monotrites sont écartées de la base de données car il ne s'agit pas de l'objet de l'étude, la demande est principalement ciblée sur les chèvres en lactation normale (trois cent jours) et en bitraite. Cette base de données est malgré tout restée partiellement incomplète par le fait que certains contrôles n'ont pas pu être récupérés.

2.2.2. Analyse croisée entre l'urée et les valeurs alimentaires des rations

2.2.2.1. Sélection des exploitations et création de catégories laitières

La seconde base de données a été créée à partir des données de la première, dans le but de pouvoir utiliser les données alimentaires et de les croiser avec le taux d'urée du lait. En effet, les données alimentaires sont identiques pour toutes les chèvres d'une exploitation pour un contrôle donné. Or les variations du taux d'urée du lait pour les chèvres d'un troupeau sont importantes. Dans cette seconde base de données, seulement dix exploitations sur les dix-huit ont été retenues : il s'agit de celles possédant toutes les données sur les quatre contrôles.

Les chèvres sont différenciées en fonction de leur production laitière pour ainsi pouvoir s'approcher au maximum de leur ingestion réelle (*annexe II*). Les catégories laitières sont donc

Zootechniques			Alimentaires		
Quantitatives	Qualitatives		Quantitatives	Qualitatives	
Variables	Variables	Modalités	Variables	Variables	Modalités
Nombres de lactation	Race	Alpine Saanen	UFL	Pâturage	Oui Non
Stade de lactation (en jour ou en mois)	Saisonnalité	Saisonnées Désaisonnées	PDIN (g/kg)	Système alimentaire	Foin Foin + ensilage Foin + vert
NEC Lombaire	Mois de l'année	Janv., Fév., ...	PDIE (g/kg)		
NEC Sternale	Numéro du contrôle	Contrôles 1 mois, 3 mois, 6 mois et 9 mois	MAT (%)		
TB jour (g/kg)	Parité	Primipares Multipares	CB (%)		
TP jour (g/kg)	Production laitière	Faible Moyenne cible	Amidon + sucre (%)		
TB/TP	Nom de l'exploitation	Numéro de cheptel	NDF ration		
Cellules (en millier)			Rmic		
Urée jour (mg/kg)					
Lait jour (kg)					

Tableau 2 : Liste des variables utilisées dans les analyses statistiques mises en relation avec le taux d'urée du lait.

propres à l'exploitation et dépendent de la production du troupeau : les quartiles supérieurs et inférieurs sont définis pour chaque contrôle. Les chèvres dont la production se situant dans le quartile inférieur sont appelées les faibles, celles dans le supérieur les cibles, et les autres les moyennes. La dénomination « cible » provient du fait que le rationnement se résonne à l'échelle du troupeau, la chèvre appelée « cible » est prise comme référence : son niveau de production est supérieur à 75% du troupeau. À partir de ces catégories, la capacité d'ingestion a pu être calculée. Les rations ont été ajustées pour chaque catégorie grâce au rationneur de SIECL. Cette base de données est donc constituée de moyennes des données.

2.2.2.2. Analyse des variations de l'urée « à dire d'expert »

Enfin, une interprétation « à dire d'expert » a été effectuée sur un échantillon de cinq exploitations parmi les dix retenues précédemment. Le choix de ces exploitations a été fait selon leur profil d'urée, de MAT, de production laitière et de leur saisonnalité. Les exploitations sont choisies « à l'œil », en sélectionnant celles qui ont des tendances inverses et potentiellement explicables, pour tenter de définir cinq fiches « références » différentes. Les éleveurs et conseillers pourront s'y référer pour analyser les variations d'urée au sein de l'exploitation et les comparer aux fiches types. La sélection s'est limitée à cinq pour limiter le nombre de références, celle-ci étant sûrement biaisée par ces choix réalisés sans critère vraiment prédéfini.

2.3. Méthodes statistiques de traitement des données

Le taux d'urée du lait est analysé dans l'objectif de comprendre quand, pourquoi et comment il varie. L'ensemble des variables utilisées pour les différentes analyses est regroupé dans le tableau 2. Le traitement des données s'effectue à plusieurs échelles :

- Les données appelées « zootechniques » regroupent des informations sur la chèvre (race, NEC, stade de lactation, parité, etc.), sur la production laitière (quantité de lait, TB, TP, cellules, etc.), ainsi que le système d'élevage et la période de l'année (saisonnalité, mois de l'année, numéro de contrôle, etc.). Toutes ces données sont étudiées à l'échelle individuelle, chaque chèvre possède une donnée qui lui est propre.

- Les données appelées « alimentaires » (c'est-à-dire MAT, CB, Amidon + sucre, pâture, système alimentaire, PDIN, PDIE, NDF, Rmic, UFL). Ces données sont étudiées à l'échelle des exploitations et des contrôles, les chèvres d'une même exploitation pour un même contrôle possèdent les mêmes données alimentaires. Chaque contrôle est séparé par les catégories laitières (faibles, moyennes et cibles) car la capacité d'ingestion change en fonction de celles-ci.

2.3.1. Répartition du taux d'urée et recherche de zones de confort

Pour visualiser l'amplitude de variation des teneurs en urée du lait, des boxplot sont utilisés (*annexe III*). Ils permettent d'être plus précis sur la répartition des données. Cet outil permet aussi d'apprécier et de comparer les différences existantes entre les exploitations.

Un des objectifs de l'étude est de déterminer, à partir des données urée, des zones de confort pour les animaux. Celles-ci correspondraient à un état où la chèvre n'a pas de problème de santé et lui permettant d'exprimer correctement son potentiel de production. En dehors de cette zone, la chèvre présenterait des problèmes de santé (qui sont observables à l'œil nu, ou grâce au rapport TB/TP suspectant une acidose) ou des problèmes liés à la production laitière. En ce qui

concerne l'état corporel de l'animal, seules les NEC sont étudiées ici. L'objectif est ensuite d'affiner les zones obtenues en fonction de différents critères, tels que la race, la saisonnalité, le stade de lactation, la parité. Des observations à l'aide de boxplot, de tableaux comparatifs et de graphiques permettront de délimiter les zones et d'analyser les catégories extrêmes.

2.3.2. Recherche des facteurs zootechniques influençant le taux d'urée

La régression linéaire simple permet de modéliser une relation linéaire entre deux variables quantitatives dans un objectif explicatif. Ce traitement statistique est utilisé à plusieurs reprises pour expliquer l'urée en fonction des variables quantitatives zootechniques et alimentaires. La probabilité critique de chaque test est alors analysée. Si celle-ci est inférieure au seuil des 5% cela indique une liaison significative entre les deux variables. La valeur du R^2 est aussi donnée, elle représente le pourcentage de la variable étudiée expliquant la variabilité de l'urée.

Dans le cas des variables qualitatives, une Analyse de variance à un facteur (ou ANOVA) est utilisée pour modéliser les relations entre l'urée et les variables qualitatives à plusieurs modalités. L'objectif est de comparer les moyennes de l'urée pour toutes les modalités des variables. De même que pour les régressions simples, la probabilité critique et le R^2 sont analysés pour la mesure de la significativité des liaisons.

Une régression linéaire multiple a également été utilisée pour compléter l'étude des facteurs zootechniques. Il s'agit d'un modèle qui permet d'étudier une interaction de plusieurs variables sur le taux d'urée, et non une à une comme c'est le cas pour les régressions simples. Les variables étudiées sont : Race, Saisonnalité, Stade de lactation, Nombre de lactation, Quantité de lait journalière, NEC Lombaire et Sternale, TB jour, TP jour, TB/TP, Cellules, Numéro du contrôle, Mois de l'année et Parité. Dans un premier temps, toutes les variables sont insérées dans le modèle, puis le modèle est relancé avec les variables qui ressortent significatives, jusqu'à obtenir uniquement des variables qui soient toutes significatives. Une ANOVA va alors compléter l'analyse pour mesurer le degré de significativité des variables.

2.3.3. Analyse du lien entre l'urée et les autres variables et du rapprochement des individus

L'objectif de l'ACP (Analyse en Composante Principales) est d'étudier les ressemblances entre les chèvres du point de vue de l'ensemble des variables et de dégager des profils. Elle permet également de réaliser un bilan des liaisons linéaires entre les variables à partir des coefficients de corrélations. Pour déterminer le nombre d'axes à analyser, la cassure apparente sur la décroissance du diagramme en barre est repérée. La première partie du diagramme indique le nombre d'axes à prendre en compte.

Un première ACP a permis de représenter dans un même plan toutes les chèvres en fonction de différents descripteurs, c'est-à-dire des variables quantitatives zootechniques : Nombre de lactation, Stade de lactation (en jour), NEC lombaire et Sternale, TB jour, TP jour, cellules, TB/TP, Urée jour, Lait jour, ainsi que des variables illustratives supplémentaires qui sont : la Race, la Saisonnalité et les Mois de l'année. Cependant, le nombre de chèvres est trop élevé pour pouvoir les classer. Pour avoir une meilleure observation des individus, ceux-ci sont regroupés selon des catégories tenant compte de l'urée (catégorie allant de 50 en 50 mg/L), de la

Répartition du taux d'urée du lait

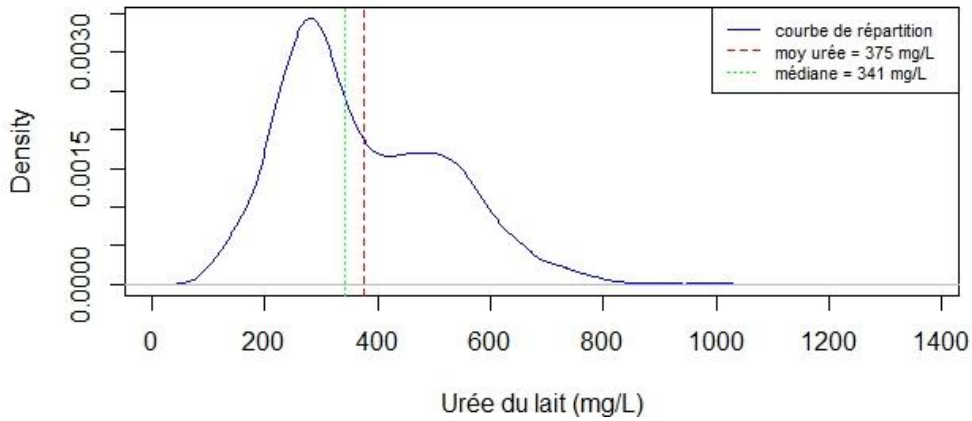
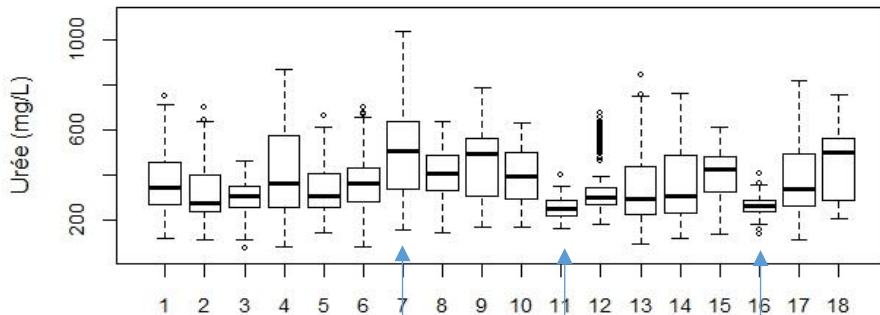


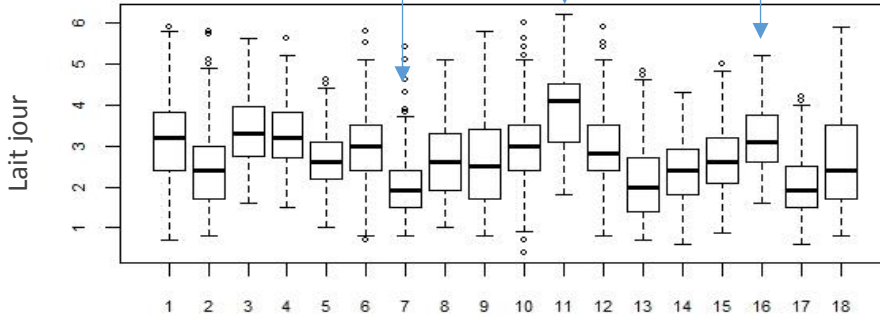
Figure 8 : Répartition bimodale du taux d'urée du lait de chèvre, tous contrôles compris.

Répartition de l'urée en fonction des exploitations



Moyenne urée (me/L) : 358 321 296 411 332 446 505 407 353 498 256 333 335 355 394 264 392 453

Répartition de la quantité de lait en fonction des exploitations



Les numéros représentent les exploitations étudiées

Figure 9 : Observation de l'urée en fonction des exploitations, mis en relation avec la quantité de lait journalière en fonction des exploitations.

Variables factor map (PCA)

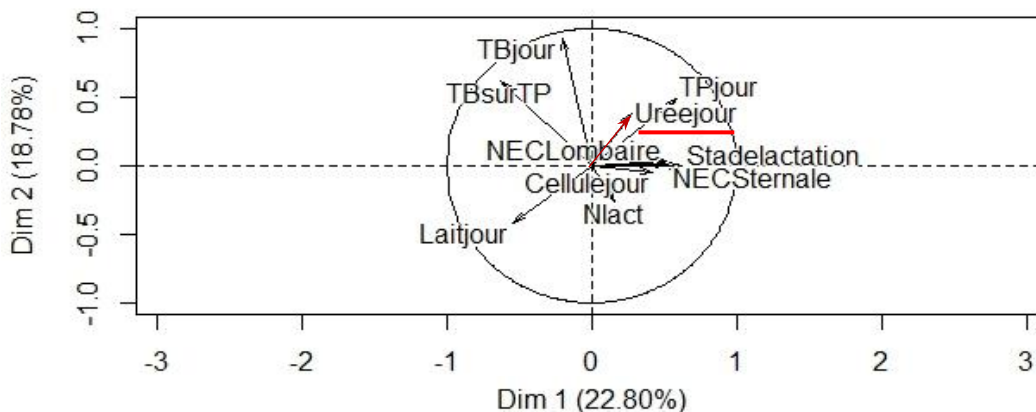


Figure 10 : Graphique des variables quantitatives physiologiques de l'ACP indiquant les corrélations.

race et de la saisonnalité. Des moyennes sont ainsi faites pour les variables quantitatives. Une seconde ACP est alors réalisée avec les mêmes variables, seules les NEC sont enlevées à cause du nombre important de données manquantes. Sur chaque graphique des individus, les variables qualitatives (en rose) représentent le barycentre des individus qui prennent cette modalité.

3. RESULTATS

3.1. Analyse de la répartition du taux d'urée du lait

3.1.1. Répartition bimodale du taux d'urée du lait

Connaître la répartition du taux d'urée des chèvres permet d'avoir un premier panorama des valeurs du taux d'urée du lait. La courbe présente une répartition bimodale (*figure 8*). La bimodalité d'une distribution indique souvent que la distribution de la variable étudiée dans la population n'est pas normale. Cette bimodalité caractérise un jeu de données déséquilibré, elle renseigne sur le fait que l'échantillon n'est pas homogène et que les observations proviennent de deux ou plusieurs distributions qui se « chevauchent ».

Des analyses supplémentaires sont réalisées pour comprendre pourquoi la répartition est bimodale. Dans la base de données, il y a les données des quatre contrôles par exploitation, ce qui pourrait représenter quatre distributions : mais la bimodalité est aussi observée dans la répartition du taux d'urée pour chaque contrôle (*annexe IV*). Nous cherchons alors d'autres facteurs expliquant la bimodalité tels que la race qui constituerait deux populations (Alpine et Saanen) ou la saisonnalité qui pourrait également se définir comme deux populations (Saisonnées et désaisonnées). Mais ces courbes de répartition sont similaires à la représentation globale (*annexe IV*).

3.1.2. Répartition de l'urée selon les exploitations

Les moyennes du taux d'urée par exploitation varient de 256 mg/L pour la plus basse à 505 mg/L pour la plus élevée (*figure 9*), l'écart observé est du simple au double. Cependant, l'observation des moyennes ne permet pas d'apprécier l'ampleur des variations du taux d'urée du lait intra-exploitation d'où l'utilisation de boxplot.

Les quantités moyennes de lait produit par exploitation sont mises en parallèle avec la teneur en urée. L'exploitation qui possède le taux d'urée le plus bas en moyenne produit la plus grande quantité de lait, et inversement, l'exploitation qui possède le plus haut taux d'urée en moyenne possède la production laitière moyenne la plus basse (*figure 9*). L'hypothèse envisagée est que l'urée est corrélée négativement à la quantité de lait journalière produite, ce que l'on va chercher à vérifier. De même, d'autres corrélations peuvent être envisagées entre l'urée du lait et les autres facteurs zootechniques.

3.2. Liens entre l'urée et les facteurs zootechniques

3.2.1. Recherche des corrélations sur l'ensemble des chèvres

Une première ACP montre qu'il n'y a pas de corrélations évidentes entre l'urée et les autres variables. Les deux premières dimensions de l'ACP résument environ 40% de la variance du jeu de données, ce qui est faible car il n'y a que dix variables quantitatives. L'ajout des dimensions trois et quatre permettent de résumer 63% de la variance du jeu de données (*annexe VIa*).

L'urée est mal représentée sur le graphique des variables pour les dimensions un et deux, (*figure 10*), les variables bien représentées, c'est-à-dire le TB, le TP et le rapport TB/TP ne sont

	Nlact	Stade lactation	TB jour	TP jour	TB/TP	Cellule jour	Lait jour	Uree jour
Nlact	1							
Stade lactation	0,01	1						
TBjour	-0,11	-0,16	1					
TPjour	0	0,22	0,4	1				
TB/TP	-0,11	-0,32	0,75	-0,3	1			
Cellulejour	0,19	0,12	-0,07	0,23	-0,22	1		
Laitjour	0,12	-0,46	-0,16	-0,34	0,07	-0,18	1	
Ureejour	0	0,12	0,16	0,26	-0,02	0,04	-0,2	1

Tableau 3 : Matrice des corrélations entre l'urée et les variables.

Individuals factor map (PCA)

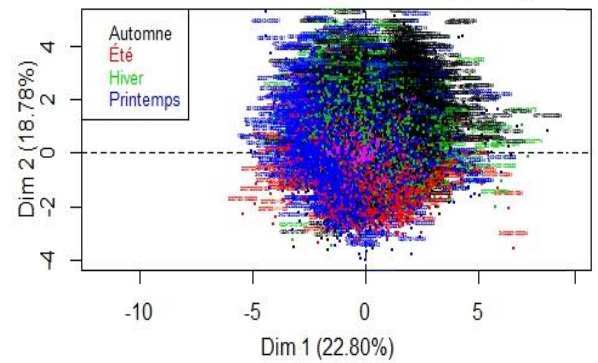
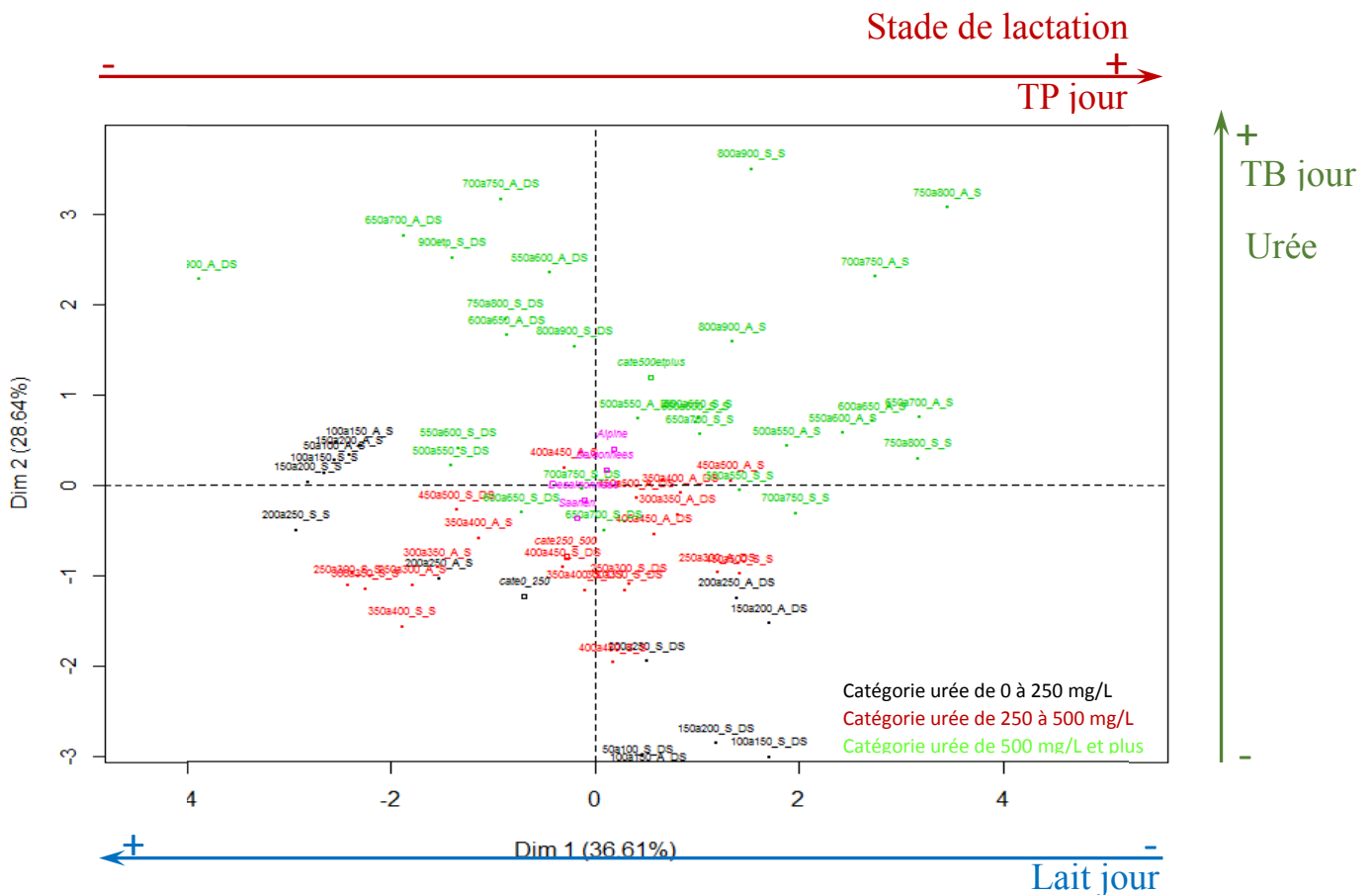


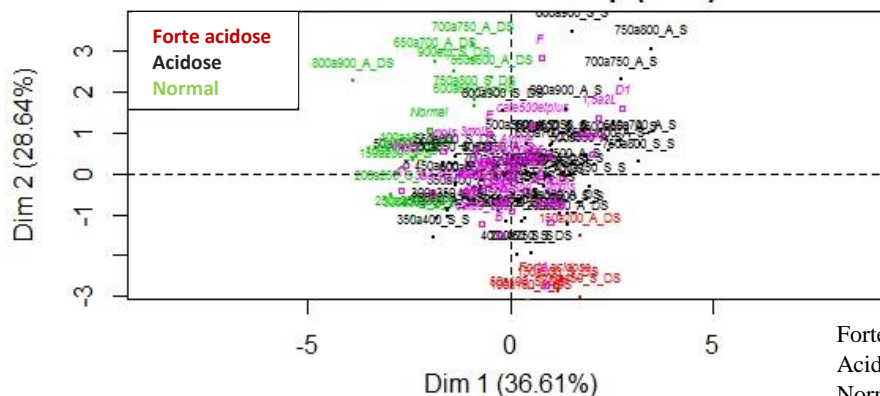
Figure 11 : Graphique des individus de l'ACP coloriés selon les saisons.



Les individus sont nommés selon leur catégorie urée (ex : 100a150 = 100 à 150 mg/L), la race et la saisonnalité : S_S : Saanens Saisonnées ; S_DS : Saanens Désaisonnées ; A_S : Alpines Saisonnées ; A_DS : Alpines Désaisonnées.

Figure 12 : Graphiques des individus réparties selon les catégories urées, les races, et la saisonnalité.

Individuals factor map (PCA)



Forte acidose : TB/TP < 1 ;
Acidose TB/TP compris entre 1 et 1,15 ;
Normal : TB/TP > 1,15.

Figure 13 : Graphique des individus coloriés selon le rapport TB/TP.

donc surement pas corrélées avec l'urée. De plus, nous ne pouvons pas conclure quant à sa corrélation avec les autres variables. D'autre part, lorsqu'on s'intéresse aux axes 3 et 4, l'urée est également très mal représentée, ce qui montre que l'urée n'est pas corrélée significativement aux variables représentant les facteurs zootechniques (*Annexe VIa*). Au vu de la matrice des corrélations, l'urée n'est pas corrélée aux autres variables de l'étude (*tableau 3*) car les coefficients de corrélation sont très faibles (toujours inférieur à 0,3).

La moyenne générale du taux d'urée du lait de toutes les chèvres de la base de données est de 375 mg/L. Les individus sont trop nombreux pour être différenciés au niveau du graphique des individus (*Annexe VIa*). Cependant, des groupes d'individus sont recherchés en coloriant les individus selon les variables qualitatives (*Annexe VIb*). Seules les saisons semblent regrouper les individus (*figure 11*).

3.2.2. Analyse de la variabilité entre individus regroupés par classes d'urée

La seconde ACP est réalisée dans le but d'avoir une meilleure observation grâce à des classes d'individus en fonctions de l'urée. Les deux premières dimensions résument près de 65% de la variance du jeu de données (*annexe VII*). La figure 12 illustre bien la variabilité existante entre les groupes d'individus. L'axe 1 est expliqué par le Stade de lactation ($R^2=0,83$), le TP jour ($R^2=0,75$), et Lait jour ($R^2= -0,83$), tandis que l'axe 2 est expliqué par le TB jour ($R^2=0,92$) et l'urée ($R^2= 0,76$). Ces variables sont bien représentées sur le graphique des variables (*annexe VII*). Les Alpines et les Saanens sont bien réparties en haut et en bas du graphique : la race ne semble pas liée au taux d'urée. En ce qui concerne la saisonnalité, les groupes saisonnés sont davantage regroupés au milieu du graphique, tandis que les désaisonnés sont bien répartis sur tout le graphique, la saisonnalité ne semble donc pas avoir d'effet très marqué sur le taux d'urée (*annexe VII*). Un effet acidose semble apparaître, en effet les catégories ayant un rapport TB/TP inférieur à 1 sont regroupées en bas du graphique (*figure 13*).

Il n'est pas possible de distinguer des corrélations entre l'urée et les autres variables avec une analyse de tous les individus (*tableau 3*). Cependant, des relations semblent s'établir grâce à la création de groupes d'individus. Nous pouvons alors faire l'hypothèse que plusieurs facteurs agissent ensemble en interaction sur la variation de l'urée, et non séparément.

3.2.3. Recherche d'une interaction grâce à un modèle de régressions multiples

Pour vérifier cette hypothèse, un modèle de régressions multiples a été créé. Après étude du modèle (*annexe VIII*), seules les variables Race, Stade de lactation, le Lait jour et le TB jour ressortent significatives au seuil des 5%. Cependant le R^2 du modèle est très faible (0,15), c'est-à-dire que l'interaction de ces quatre variables ne permet d'expliquer que 15% de la variabilité du taux d'urée du lait. D'autres facteurs sont alors responsables de la variation de l'urée du lait.

Face à la très faible corrélation entre l'urée et les facteurs zootechniques étudiés, il paraît pertinent de différencier les chèvres qui possèdent des taux d'urée très hauts ou très bas. En effet, l'absence de significativité pourrait être masquée par un nombre trop important de chèvres à l'urée variant autour de la moyenne. L'analyse séparée des zones extrêmes pourrait mettre en évidence des corrélations non linéaires qui seraient présentes uniquement pour ces catégories.

3.3. Recherche et caractérisation des zones de confort du taux d'urée du lait

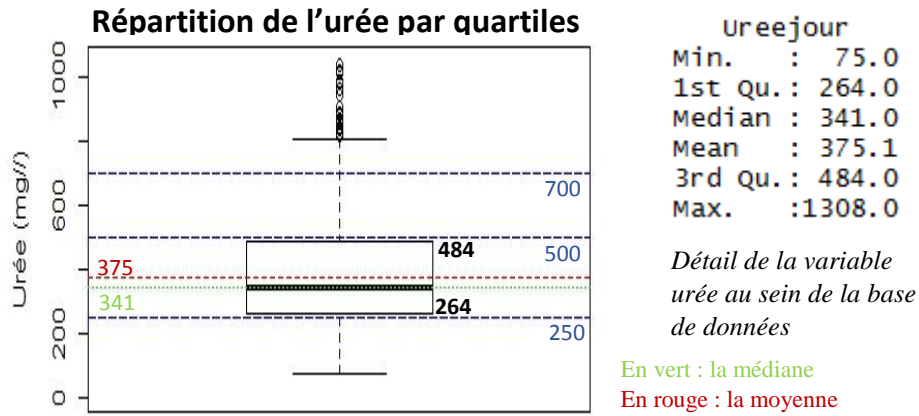


Figure 14 : Boxplot décrivant la répartition de l'urée en fonction des quartiles

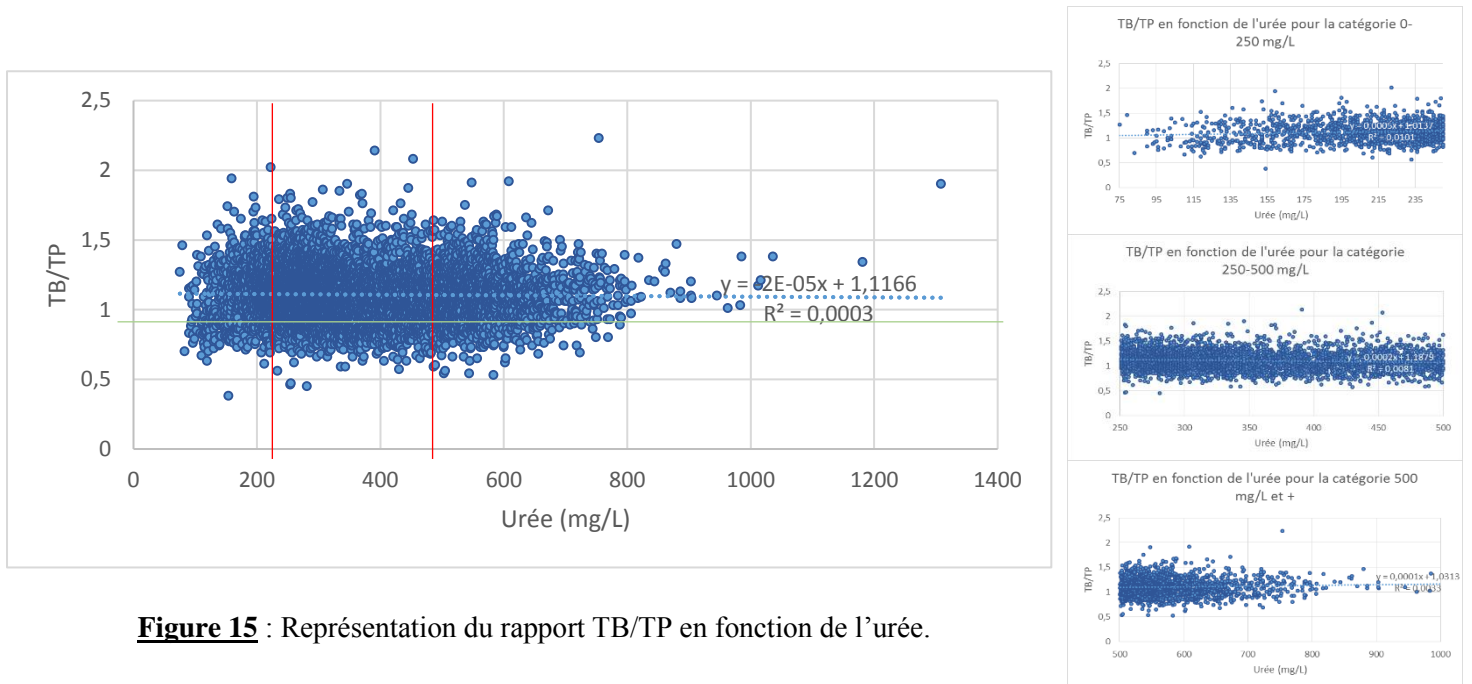
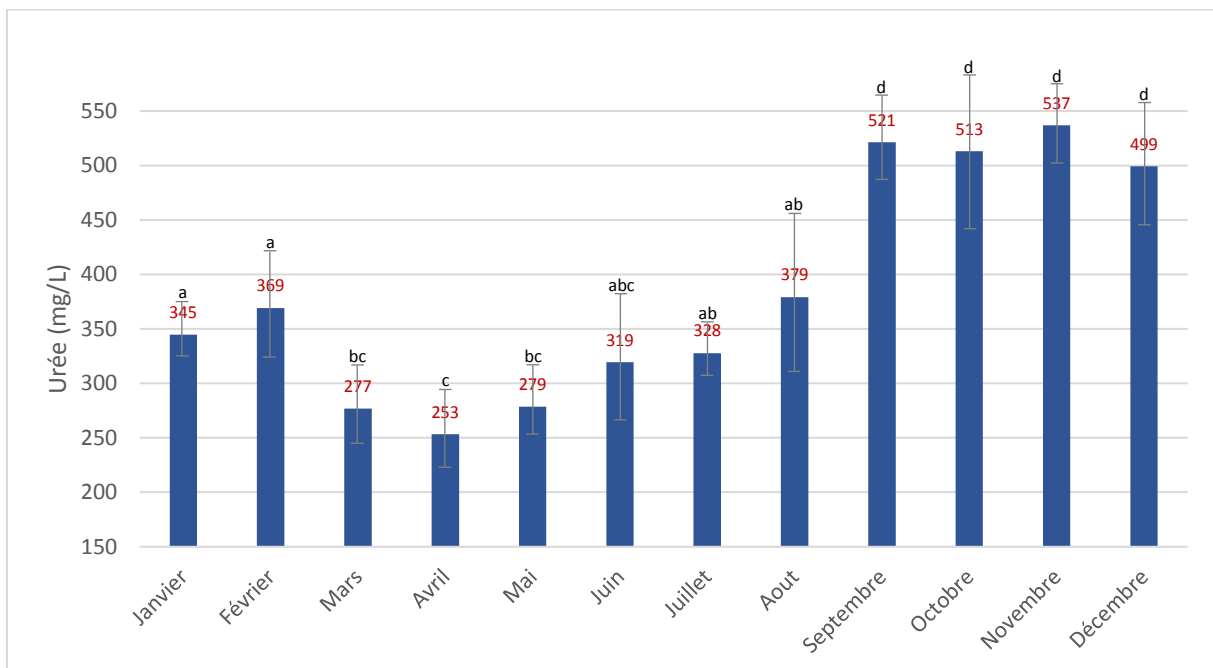


Figure 15 : Représentation du rapport TB/TP en fonction de l'urée.



a,b,c,d : si toutes les lettres sont différentes, les différences sont significatives au seuil de 5%.

Figure 16 : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année.

3.3.1. Détermination des limites des zones

L'étude des quartiles de la répartition de l'urée est décrite en figure 14. Pour pouvoir parler de catégories « extrêmes » et augmenter la précision de celles-ci, la séparation des zones se limite 20% des catégories supérieures et inférieures au lieu des 25% définis par les quartiles. La répartition des zones d'étude est donc la suivante : 58% des chèvres possèdent une urée du lait comprise entre 250 et 500 mg/L, 20% en dessous de 250 mg/L, 20% entre 500 et 700mg/L, et 2% au-dessus de 700mg/L. L'observation des chèvres se situant dans ces zones devrait permettre de les différencier et de caractériser les chèvres des catégories extrêmes.

3.3.2. Caractéristiques des différentes zones

Une étude graphique de ces trois catégories urée ainsi qu'un tableau comparatif de moyennes sur plusieurs facteurs ont été réalisés, mais aucune différence n'en ressort (*annexe V*). Des régressions linéaires simples des différents facteurs n'ont pas permis de mettre en évidence des caractéristiques propres aux catégories extrêmes. Par exemple, les chèvres dont le rapport TB/TP est inférieur à 1,15, caractéristique d'une acidose, sont présentes dans toutes les catégories, et en proportion assez élevée (*figure 15*). En effet, 59% des chèvres se situent en dessous de cette limite. 56% des chèvres seraient en acidose dans la catégorie urée inférieure à 250, 60% dans la catégorie urée comprise entre 250 et 500 et 58% pour celles dont l'urée dépasse 500 mg/L.

Dans chaque zone, aucune caractéristique commune ne ressort aussi bien au niveau zootechnique, que dans la production laitière ou l'alimentation. Face à ce constat, nous ne pouvons pas définir à proprement dit des zones de « confort » car cela signifierait qu'en dehors de ces zones, les chèvres ne sont pas dans leurs conditions optimales. Or ce n'est pas le cas, car il est impossible de déterminer ce qui lie ces chèvres dans les zones supérieures ou inférieures, elles possèdent des NEC correctes, une production laitière très variable, des TB et TP variables. Face au faible pourcentage des chèvres possédant une urée supérieure à 700mg/L et au manque de caractéristiques communes dans cette catégorie, ces chèvres sont intégrées dans la catégorie 500 – 700 mg/L, qui s'appellera désormais « supérieure à 500 mg/L ». Nous allons donc parler de ces zones comme catégories de référence. Les chèvres possédant un taux d'urée du lait inférieur à 250 mg/L seront considéré comme des chèvres à « urée basse », celles comprises entre 250 et 500 mg/L comme « urée moyenne » et celles au-dessus de 500mg/L comme « urée haute ».

3.4. Effet des mois de l'année sur les variations du taux d'urée

3.4.1. Des variations identiques malgré des systèmes d'élevage différents

L'alimentation des chèvres laitières évolue tout au long de l'année, en fonction du stade de lactation des chèvres, des fourrages disponibles, et de la mise au pâturage.

Quelques soit le système, l'urée évolue au cours de l'année : le taux d'urée du lait est plus faible au printemps, il varie entre 253 et 280 mg/L (*figure 16*) et beaucoup plus élevé à l'automne, de 513 à 537 mg/L. Cependant, il semble important de séparer les chèvres fonctionnant en système saisonné et celles en désaisonné car le stade de lactation diffère pour ces deux systèmes selon le moment de l'année. Or, la même tendance pour les saisonnées et désaisonnées est obtenue (*figures 17a et 17b*), c'est-à-dire un taux d'urée faible au printemps et élevé à l'automne. Selon ces graphiques, le mois de l'année aurait plus d'influence sur le taux d'urée que le stade de lactation. Pour vérifier cette hypothèse, le taux d'urée moyen est calculé en fonction du stade de lactation,

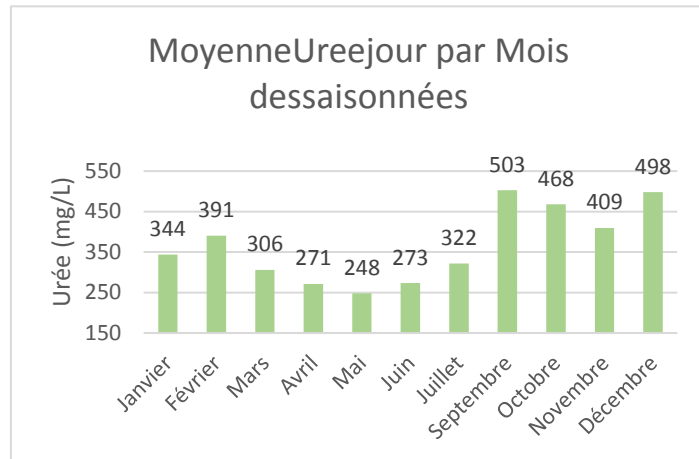
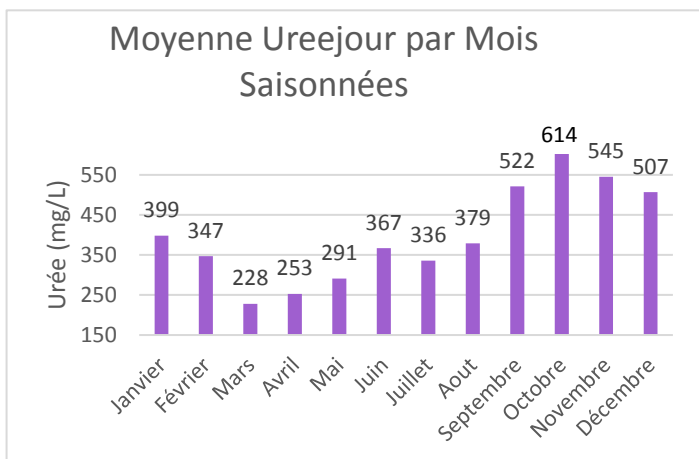


Figure 17a : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année pour les chèvres fonctionnant en système saisonné.

Figure 17b : Moyenne du taux d'urée du lait en fonction des mois de l'année pour les chèvres fonctionnant en système désaisonné.

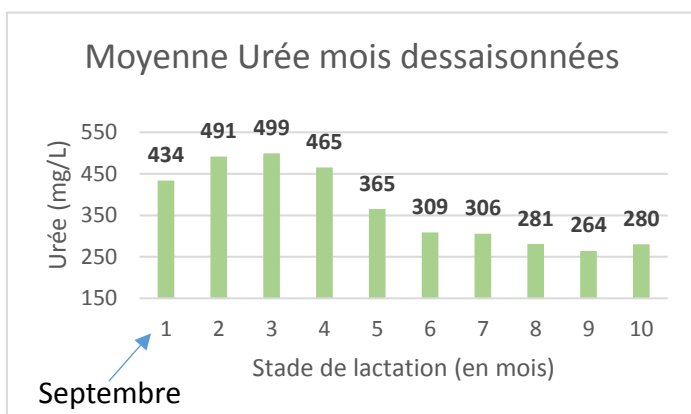
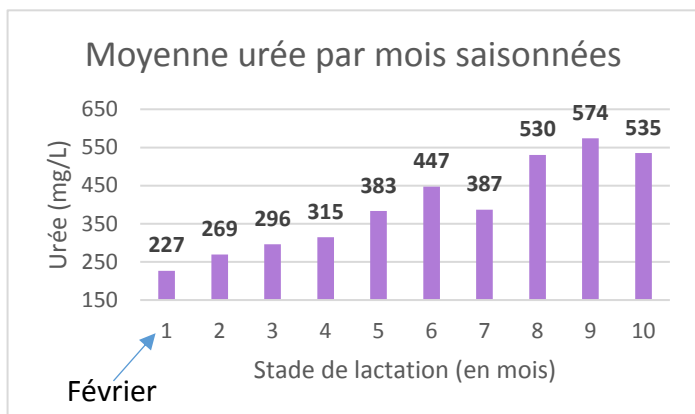


Figure 18a : Moyenne du taux d'urée en fonction du stade de lactation (par mois) pour les chèvres fonctionnant en système saisonné.

Figure 18b : Moyenne du taux d'urée en fonction du stade de lactation (par mois) pour les chèvres fonctionnant en système désaisonné.

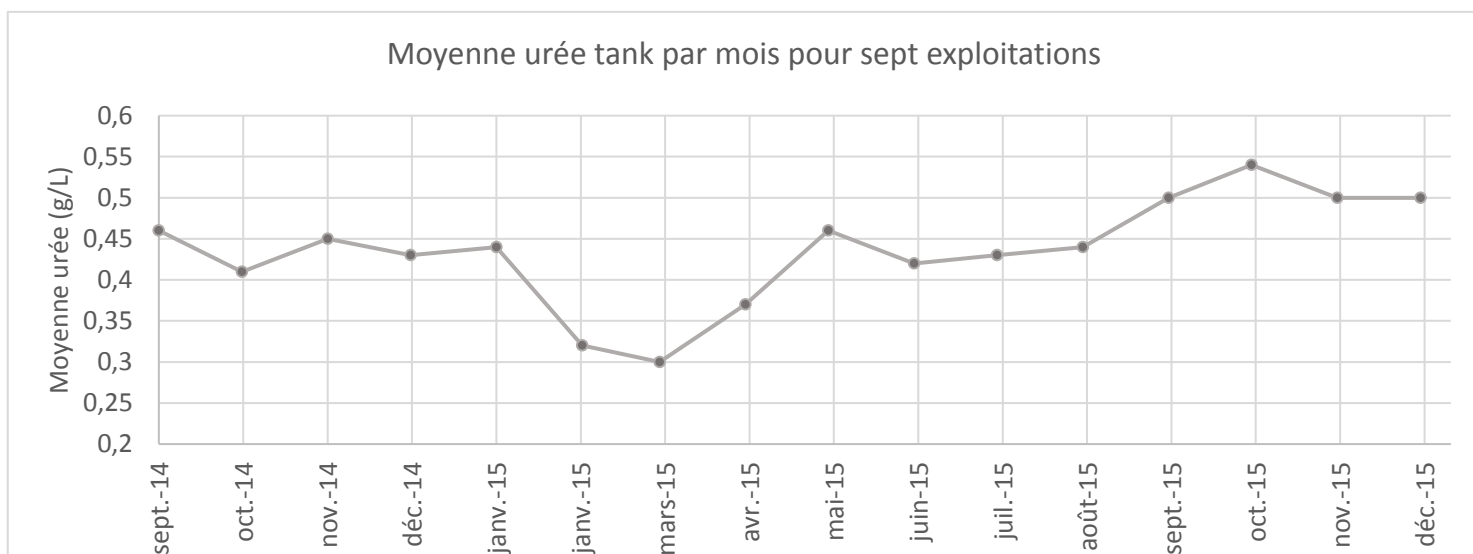


Figure 19 : Moyenne des données tank de sept exploitations en fonction des mois de l'année.

en séparant les saisonnées et les désaisonnées. Cette fois-ci, une tendance inverse est observée (*figures 18a et 18b*) :

- pour les saisonnées, le taux d'urée est faible sur les premiers mois de l'année (ce qui correspond à la fin de l'hiver et au printemps) et plus élevé en fin de lactation (ce qui correspond à l'automne)
- pour les désaisonnées, le taux d'urée est plus élevé sur les premiers mois de lactation (ce qui correspond à l'automne) et plus faible sur la fin de lactation (ce qui correspond au printemps).

L'urée du lait semble donc bien dépendre du mois de l'année et non du stade de lactation.

3.4.2. Influence des mois de l'année sur les résultats déjà établis

Dans le modèle de régressions multiples nous avons choisi de conserver la variable « stade de lactation » plutôt que « mois de l'année » car le « stade de lactation » est davantage intrinsèque à la chèvre. En relançant le modèle en conservant « mois de l'année » à la place de « stade de lactation », le R^2 est égale à 0,56, contre 0,15 précédemment (*annexe IX*). Les mois de l'année peuvent expliquer environ 50% des variations d'urée. Ce résultat peut également expliquer le fait que les individus sont groupés par saisons. Il est également possible d'envisager que les mois de l'année soient responsables de la bimodalité de la courbe de répartition de l'urée (*annexe X*). En effet, la répartition de l'urée selon les mois de Mars, Avril, Mai, Juin et juillet suivent la première bosse de la courbe témoin, ces mois correspondent au printemps et au début de l'été. À l'inverse, les mois de Septembre, Octobre, Novembre, Décembre suivent la deuxième bosse, ils représentent l'automne et le début de l'hiver. Ces groupes pourraient former « deux populations ». En ce qui concerne les mois de Janvier, Février et Aout, il ne semble pas avoir de répartition suivant une loi normale, nous pouvons faire l'hypothèse qu'il s'agit des mois de transition entre deux phases. De plus, il y a moins d'animaux représentés pour ces mois car il s'agit des périodes de tarissements.

Pour appuyer ce résultat, une analyse des données de l'urée du tank a été effectuée sur sept exploitations de l'étude dont les données tank sont disponibles (*figure 19*). Les mêmes tendances que pour les données individuelles sont obtenues, c'est-à-dire un taux d'urée du lait plus faible au printemps et plus fort à l'automne.

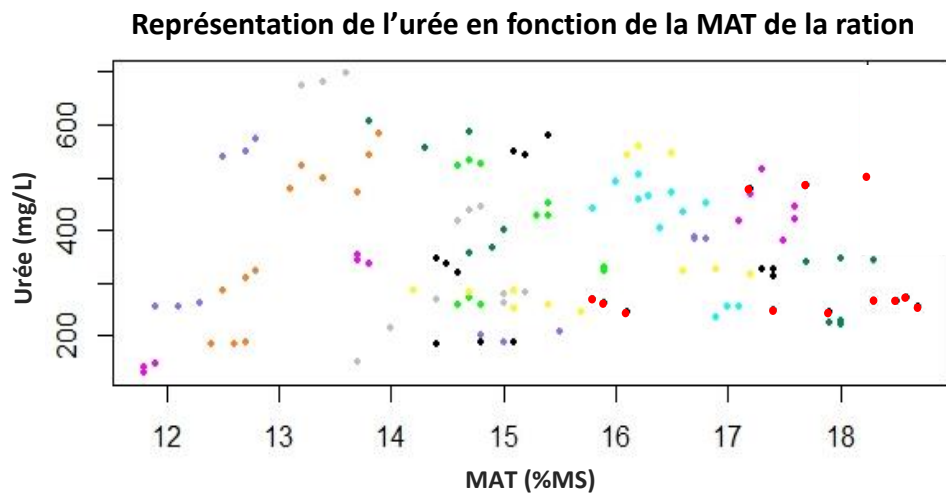
Le taux d'urée du lait dépend donc de la saison. L'alimentation est également dépendante des saisons avec des variations au niveau des fourrages et de leurs valeurs énergétiques et azotés. Une relation entre l'urée et les facteurs alimentaires est alors envisageable, ce qui permettrait d'expliquer l'effet « mois de l'année ». Cependant, toutes les chèvres d'un même troupeau, pour chaque contrôle, possèdent la même alimentation. C'est pourquoi l'approche ne va pas se faire à la même échelle.

3.5. Impacts des facteurs alimentaires sur le taux d'urée du lait

Les facteurs alimentaires étudiés sont la MAT et les bilans PDI, le Rmic qui permettent d'évaluer l'équilibre des apports énergétiques et azotés, ainsi que les concentrés. La CB, le pâturage et la quantité d'amidon + sucre sont également mis en relation avec l'urée pour voir si des facteurs alimentaires, peu présents en bibliographie et différents de ceux en rapport avec les bilans énergétiques et azotés, peuvent avoir un effet.

<i>Facteurs :</i>	R²	p.value
Facteurs quantitatifs : regressions simples		
MAT	0,0001044	0,9118
CB	0,01712	0,1544
amidonsucre	0,002351	0,599
Rmic	6,40E-05	0,931
NDFration	0,01834	0,14
PDIN	0,0002387	0,867
PDIE	0,0002723	0,858028
PDIA	0,006141	0,395
PDIMN	0,001319	0,694
UFL	0,008646	0,312
Mstotconsommée	0,0002899	0,854
TOTfourrages	0,004509	0,466
TOTconcentres	0,005249	0,432
Facteurs qualitatifs : ANOVA		
Système	0,006754	0,6727
Pâturage	0,006747	0,3724

Tableau 4 : Effet des facteurs alimentaires sur le taux d'urée du lait (interaction entre deux facteurs étudiés).



Légende : chaque couleur représente une exploitation ; chaque point représente une catégorie (faible, moyenne ou cible) et chaque groupe de trois points représente un contrôle.

Figure 20 : Représentation du taux de MAT moyen en fonction de l'urée.

L'effet de ces facteurs alimentaires sur le taux d'urée du lait n'est significatif pour aucun d'entre eux (*tableau 4*). C'est une interaction de plusieurs facteurs qui pourrait alors agir sur les variations de l'urée. Un modèle de régressions multiples ne relève aucune significativité sur l'interaction entre ces facteurs et l'urée du lait (les p.value sont toutes supérieures à 0,1). L'absence d'effet des facteurs alimentaires sur l'urée du lait remet en question le fait que l'urée puisse devenir un outil pour le diagnostic alimentaire des chèvres laitières.

Face à la non significativité des facteurs alimentaires, l'étude graphique des tendances va être réalisée avec l'hypothèse que des relations non linéaires existent entre ceux-ci et l'urée. Cependant les courbes ne relèvent aucune tendance (*annexe XI*). Lorsque l'on différencie, grâce à des couleurs, les valeurs du taux d'urée par exploitation en fonction de la MAT (*figure 20*), plusieurs éléments peuvent susciter notre intérêt :

- On peut distinguer les différents contrôles : quatre groupes de trois points
- Chaque contrôle est regroupé en trois points : ce qui représente probablement les trois catégories faibles, moyennes et cibles.
- Ces trois points peuvent être alignés horizontalement ou non.
- Les quatre groupes de points de même couleur sont parfois alignés verticalement, ce qui signifie que la valeur étudiée en abscisse ne varie pas alors que l'urée varie. Mais dans d'autres cas ces groupes sont dispersés au sein du graphique.

Ces observations montrent que le taux d'urée évolue différemment selon chaque exploitation et ne semble respecter aucune règle. Il est pertinent de s'intéresser aux variations du taux d'urée en fonction des facteurs alimentaires au sein même des exploitations.

3.6. Analyses individuelles des exploitations « à dire d'expert »

L'analyse des variations du taux d'urée en fonction des contrôles et des catégories laitières (faibles, moyennes et cibles) intra-exploitation ont permis de référencer des « exploitations types » (*annexe XII*). Quatre fois sur cinq, les variations d'urée sont explicables en fonction des données alimentaires de l'exploitation et notamment grâce aux valeurs MAT des fourrages. Cependant, il arrive parfois que les variations d'urée ne soient pas explicables avec les données de l'étude. Ces analyses sont réalisées « à dire d'expert », il s'agit donc d'explications probables et non vérifiées. De plus, si les dix exploitations ayant les données complètes avaient été analysées, le pourcentage d'exploitations possédant des variations urée explicables serait diminué. Deux exemples sont décrits ci-après.

3.6.1. Augmentation de l'urée au cours de la lactation

Dans la première exploitation analysée, appelée exploitation A, l'urée augmente au fur et à mesure des contrôles (*figure 21*). Au contrôle 1 mois, il existe une différence du taux d'urée du lait entre les faibles productrices, les moyennes et les animaux cibles ; les cibles ayant un taux d'urée plus bas que les moyennes, elles-mêmes plus bas que les faibles (*Figure 21*). Or au contrôle 3 mois, ces trois catégories ont le même niveau d'urée (*Figure 21*). Les animaux cibles ont une capacité d'ingestion plus élevée que les autres, ils vont donc manger plus de fourrages, mais la quantité de concentrés ingérée est la même que les moyennes et les faibles. Ici, le fourrage possède un faible pourcentage de MAT (8,3%), contrairement aux concentrés (*tableau 5*). Le pourcentage

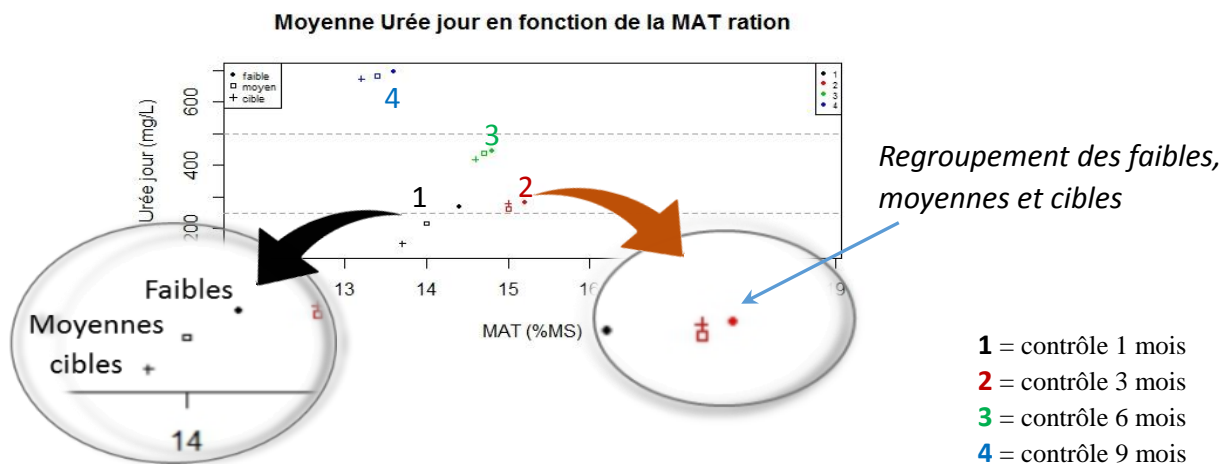


Figure 21 : Détails des variations de l'urée en fonction de la MAT selon les contrôles et les catégories de production laitière pour l'exploitation fonctionnant en système saisonné.

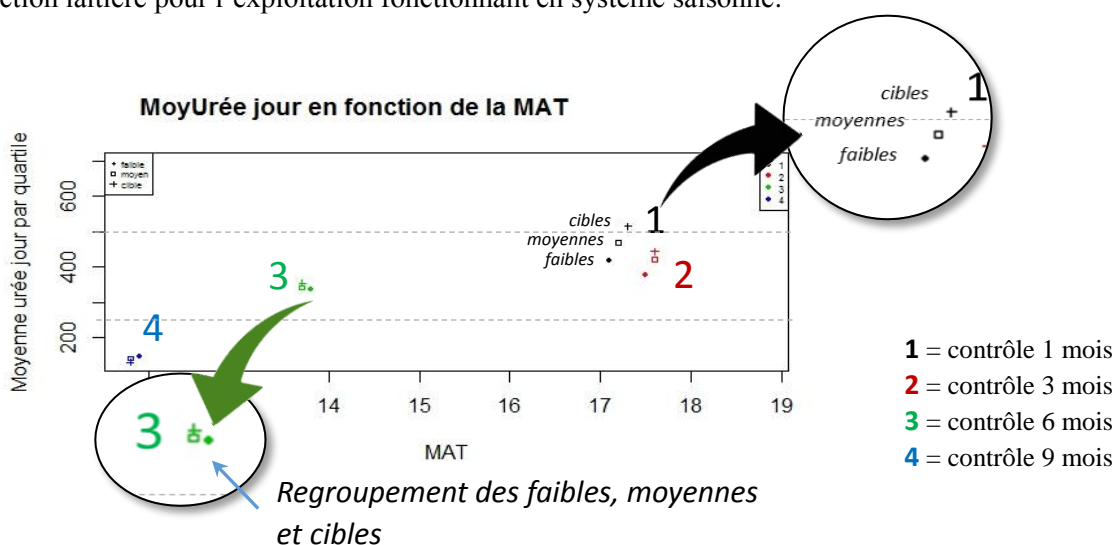


Figure 22 : Détails des variations de l'urée en fonction de la MAT selon les contrôles et les catégories de production laitière pour l'exploitation fonctionnant en système désaisonné.

Ingrés (KgMS)	Cont. 1 mois	Cont. 3 mois	Cont. 6 mois	Cont. 9 mois	MAT (%MS)
Foin de prairie permanente demi-montagne, 1er cycle	1,673	0,544	0,837	1,578	8,3
Prairie naturelle (montaison) → pâturage		1,500	1,000		15
Orge	0,147	0,130	0,165		11,6
Maïs	0,434	0,399	0,486	0,165	9,4
Tourteau soja 48	0,290	0,176	0,220	0,220	51,6
Luzerne désydraté 17-18	0,290			0,453	17,5
Seigle				0,480	10,3

Tableau 5 : Description des rations à chaque contrôle et valeur de MAT des aliments pour l'exploitation fonctionnant en système saisonné.

Ingrés (KgMS)	Cont. 1 mois	Cont. 3 mois	Cont. 6 mois	Cont. 9 mois	MAT (%MS)
Luzerne 2ème coupe	1,858	2,141			18,8
Foin Luzerne moyen 2014			2,376	1,584	13,2
Foin RG, Dactyle, Fétuque				0,846	6,6
Orge	0,260	0,173	0,260	0,130	9,4
Maïs	0,347	0,347	0,347	0,303	11,6
Luzerne désydraté 18-19		0,181			18,4
Chevy Super	0,360	0,405	0,360	0,270	23,1

Tableau 6 : Description des rations à chaque contrôle et valeur de MAT des aliments pour l'exploitation fonctionnant en système désaisonné.

de MAT dans la ration des cibles est donc plus faible que dans celui des faibles productrices, ce qui pourrait expliquer la différence au niveau du taux d'urée entre les faibles, moyennes et cibles.

On peut penser qu'il s'agit d'une ration où il y a du gaspillage d'azote car les faibles sont plus élevées en urée que les cibles or, les cibles produisent plus de lait par définition et l'azote est censé être utilisée pour produire le lait. Au contrôle 3 mois, l'apport de concentrés a fortement baissé (*tableau 5*). De plus, ce contrôle se caractérise par la mise au pâturage avec un apport de MAT par les fourrages plus important ; l'augmentation du pourcentage de MAT dans la ration totale est donc sûrement due à la pâture. L'homogénéité au niveau du taux d'urée pour les trois catégories de chèvres (*figure 21*) est due à la mise au pâturage : les moyennes productrices et les faibles vont manger plus de fourrages qu'au contrôle 1 mois.

Enfin, il s'agissait ici d'un système saisonné où les mises-bas sont en février, la relation avec les mois de l'année est alors présente.

3.6.2. Diminution de l'urée au cours de la lactation

Dans la seconde exploitation analysée, appelée exploitation B, la situation inverse est observée, l'urée diminue au fur et à mesure des contrôles (*figure 22*). Il s'agit d'une exploitation où les mises-bas ont lieu à l'automne.

Dans les deux premiers contrôles, il y a une différence du niveau d'urée entre les trois catégories, cette fois-ci ce sont les cibles qui ont un niveau plus élevé. Un fourrage unique est utilisé : la luzerne qui est riche en azote (18,8% de MAT) (*tableau 6*). Au niveau des concentrés, toutes les chèvres mangent la même portion (faibles, moyennes, cibles), mais elles se différencient au niveau de la quantité de fourrages ingérée. En comparaison avec l'exploitation A où l'éleveur distribuait que de la luzerne déshydratée en quantité restreinte, ici, le fourrage est de qualité et distribué à volonté. Ceci explique que les fortes ingèrent plus d'azote, d'où le fait qu'elles soient plus hautes en urée. Au contrôle 6 mois, ce n'est plus la même luzerne qui est distribuée (*tableau 6*), elle est moins riche en MAT (13,2%), ce qui explique probablement le regroupement des trois points (faibles, moyennes, cibles). De plus, l'apport d'azote par les concentrés est légèrement plus élevé au contrôle 6 mois qu'au contrôle 1 mois (32% contre 29%).

Ces deux exemples, basés sur des analyses à dire d'expert, montrent tout de même qu'il est possible d'expliquer les variations du taux d'urée par l'alimentation et notamment grâce aux valeurs de MAT des fourrages utilisés.

4. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

4.1. Nouvelle vision sur le déroulement de l'étude

Une étude sur l'alimentation des chèvres laitières hors station expérimentale n'est pas facile à mener par le fait que l'alimentation s'effectue en lot et ne peut pas être individualisée. Malgré la mesure des refus, il est difficile d'évaluer précisément ce que mange une chèvre au sein du lot, ce qui oblige à travailler sur des valeurs moyennes et non individuelles, limitant ainsi la fiabilité des résultats. Il faut également tenir compte des contraintes de production des éleveurs et leur faire confiance dans leur respect du protocole expérimental. De plus, l'intervention d'un nombre important de techniciens dans la récolte des données affaiblit le dispositif expérimental.

4.1.1. Proposition concernant le protocole expérimental

En tenant compte des disponibilités et pratiques de l'éleveur, le protocole expérimental aurait pu être amélioré de plusieurs façons :

- Limiter le nombre de techniciens chargés de la récolte des données.
- Augmenter le nombre de contrôles au cours de la lactation pour avoir une meilleure idée de la variation de l'urée au cours de la lactation. L'objectif serait de voir si des chèvres auraient une urée plutôt stable ou très variable, et d'analyser ces variations.
- Effectuer les NEC sur l'ensemble du troupeau, car la part présente dans la base de données est trop faible et trop peu variable pour être exploitable.
- Compléter la récolte avec les données qui apparaissent significatives en bibliographie. Par exemple, l'urée est corrélée négativement au poids vif chez les vaches laitières (Block *et al.*, 1998). Plusieurs études démontrent une relation négative entre le poids vif et le taux d'urée du lait. Les auteurs expliquent que c'est probablement le résultat d'un effet dilution : la concentration d'urée sera plus élevée chez les vaches de petites tailles (Block, 1998 ; Mendoza, 2007). De même, à l'image des études déjà réalisées (Block, 1998), les données de reproduction et de fréquence des repas auraient pu être ajoutées.

4.1.2. Optimisation du suivi de l'expérimentation

De même que pour le protocole expérimental, le suivi aurait pu être ajusté pour limiter la perte des données et le temps passé à récupérer les données manquantes. Ainsi, une check list contenant tous les élevages, en les séparant par contrôles, aurait pu être mise en place pour voir en temps réel les données manquantes. Grâce à cette liste, la base de données aurait facilement pu être créée au fur et à mesure ce qui aurait permis un gain de temps sur la récupération des données. De plus, il faut être absolument certain que, pour l'élevage choisi, l'éleveur ne va pas passer en monotraite avant la fin de lactation de ses chèvres et qu'il ne possède aucune chèvre en lactation longue, ceci évite la perte ou l'élimination de données pourtant récoltées.

Ces propositions concernant le dispositif expérimental et le suivi sont des tâches gourmandes en temps, c'est pourquoi elles sont sûrement optimistes. Des conditions idéales sont obtenues en fermes expérimentales, or l'objectif de l'étude était ciblé sur les exploitations commerciales, ces contraintes doivent donc être anticipées pour savoir rapidement faire face aux aléas de celles-ci.

4.2. Réflexions sur le manque de corrélations observé

4.2.1. Hypothèses sur la bimodalité de la courbe de répartition de l'urée

La répartition de l'urée a permis de constater un jeu de données déséquilibré. La bimodalité de la courbe peut avoir plusieurs origines : elle peut démontrer un problème de calibration de la méthode IR utilisée pour déterminer le taux d'urée. Cette hypothèse ne semble peu probable car une étude a été réalisée pour fiabiliser la calibration, elle n'est pour autant pas à écarter.

Elle pourrait également provenir d'un choix orienté des exploitations. Ce choix a pris en compte plusieurs critères, les exploitations qui possédaient plusieurs périodes de mise-bas et un pourcentage de lactations longues élevé ont été éliminés. Il dépend également de leur système alimentaire, et d'une répartition proratisée dans les régions de l'étude. Cette sélection est donc sûrement biaisée.

Paramètres	Urée	Lait	TB	TP	Lactose	Cellules
Lait	-0,287 <i><0,001</i>	1				
TB	-0,044 <i>0,23</i>	-0,081 <i>0,027</i>	1			
TP	-0,364 <i><0,001</i>	0,089 <i>0,015</i>	0,559 <i><0,001</i>	1		
Lactose	-0,102 <i>0,006</i>	-0,0278 <i>0,451</i>	0,24 <i><0,001</i>	0,117 <i>0,001</i>	1	
Cellules	-0,098 <i>0,007</i>	-0,006 <i>0,879</i>	-0,087 <i>0,017</i>	0,124 <i>0,001</i>	-0,377 <i><0,001</i>	1

Légende : les chiffres en bleu dans le tableau correspondent à la p.value, ceux en rouge et en noir correspondent au coefficient de corrélation.

Tableau 7 : Matrice des corrélations entre le taux d'urée du lait et les facteurs zootechniques sur des stades de lactation moyens des chèvres de l'étude de Rapetti *et al.*, 2009.

Une autre explication possible est qu'il y ait plusieurs distributions. Un mélange de deux ou plusieurs populations qui suivent une loi normale, ne permet pas d'obtenir une loi normale. Cependant l'étude de plusieurs populations (Contrôles, Race, Saisonnalité, Mois de l'année) n'a pas révélé de lois normales, même si une hypothèse a été proposée sur les mois de l'année.

Cette bimodalité de la courbe de répartition de l'urée n'a donc pas pu être expliquée de façon certaine, mais plusieurs hypothèses ont été avancées. La récolte des informations sur les exploitations s'est effectuée par différents techniciens. Bien que ceux-ci aient suivi un protocole précis, les données ont malgré tout pu être récoltées différemment en fonction des techniciens. Le manque d'uniformité des données peut constituer un frein à l'étude et pourrait peut-être, être en partie responsable du manque de significativité entre les données.

4.2.2. Réflexions sur les manques de significativité

La littérature scientifique sur l'étude de liens entre des facteurs zootechniques et le taux d'urée du lait des chèvres laitières est, à ce jour, quasiment inexistante. Seules des études sur les vaches laitières ont été réalisées ; ces études montrent que le stade de lactation, le temps de traite, le TB, le TP et le nombre de cellules sont corrélés significativement avec l'urée du lait de vache (Block, 1998 ; Wattiaux *et al.*, 2005 ; Mendoza, 2007).

Une étude a tout de même été réalisée en exploitations caprines où les corrélations établies sont résumées dans le tableau 7 (Rapetti *et al.*, 2009). Malgré que cette étude se soit également déroulée en exploitations non expérimentales, ces corrélations n'ont pas été observées dans cette étude.

En ce qui concerne les valeurs des taux d'urée de la base de données, la moyenne générale est de 375 mg/L. Les données issues du programme SYSCARE définissaient une urée normale entre 300 et 500 mg/L pour un lot, mais ces données sont définies avec une calibration pour les vaches laitières, elles sont donc surestimées de 20%.

Le manque de significativité ne s'est pas observé uniquement sur les données zootechniques. Aucun paramètre alimentaire n'a permis d'expliquer le taux d'urée, contrairement à ce qui a pu être observé en bibliographie : des liens entre la MAT (Sauvant *et al.*, 2012), les bilans PDI (Rapetti *et al.*, 2009) ou le Rmic (Lagriffoul *et al.*, 1999) et le taux d'urée du lait ont été de nombreuses fois démontrés. Plusieurs explications sont avancées.

4.2.2.1. Limite floue entre facteurs zootechniques et alimentaires

Une relation positive non linéaire a été démontrée entre l'urée du lait et le stade de lactation en vaches laitières. La concentration en urée est plus basse pendant les trente premiers jours de lactation puis réaugmente ensuite (Carlsson cité par Block, 1998 ; Mendoza, 2007). Ceci est expliqué par les changements de ration au cours de la lactation, où le rumen doit s'habituer aux nouvelles rations. Le changement d'alimentation entre les lots de différentes parités peut influencer la relation parité/urée.

Il est en effet difficile d'évaluer réellement la significativité des facteurs zootechniques : L'alimentation varie au cours du stade de lactation, de la parité, de la saisonnalité, etc. Des liens forts existent entre ces facteurs. Une étude d'interactions pourrait analyser ces corrélations mais ici, il est impossible de croiser les facteurs zootechniques et alimentaires du fait de l'alimentation

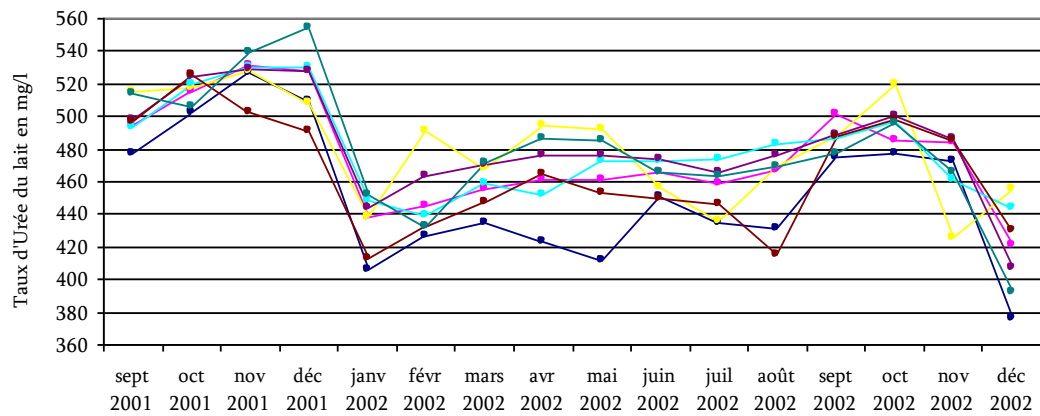


Figure 23 : Résultats de l'étude réalisée par le contrôle laitier de Poitou-Charentes sur le taux d'urée du lait en chèvre laitière en fonction des mois de l'année (chaque courbe représentant un système alimentaire différent).

en lot. Nous pouvons imaginer que, dans un futur proche, les chèvres se doteront de DAC pour avoir une meilleure gestion de la distribution des concentrés. Des données provenant de l'utilisation d'un DAC en fermes commerciales pourraient aider à l'étude des interactions.

4.2.2.2. Alimentation basée sur la chèvre cible

L'alimentation des chèvres est déterminée en fonction de la chèvre cible du lot. La majorité des chèvres mange donc au-dessus de leurs besoins azotés. L'effet des variations est trop faible et difficilement observable : il n'y a pas de variation du niveau d'azote dans la zone de couverture stricte des besoins. Si le travail est réalisé à l'échelle de l'animal avec une alimentation individualisée et correspondant exactement aux besoins de la chèvre, des relations pourraient probablement être observées, comme cela a été fait en stations expérimentales.

4.2.2.3. Le contrôle hormonal du métabolisme protéique

Une autre explication est que la différence s'effectue sur des données non disponibles, comme des données métaboliques ou des caractéristiques hormonales. L'urée est le résultat d'une dégradation, elle pourrait donc être régulée par des hormones. L'utilisation des produits terminaux de la digestion des ruminants dans les différentes voies métaboliques est coordonnée par le système neuroendocrinien. En effet, l'insuline et le glucagon participent à la régulation du métabolisme hépatique chez les ruminants (Grizard *et al.*, 1988). Une des voies de provenance de l'urée, est la dégradation par le foie des acides aminés libres. Or les flux d'acides aminés pour la synthèse protéique ou le catabolisme oxydatif sont contrôlés par les hormones (hormones de croissance, glucagon). Un lien entre le contrôle hormonal des flux d'acides aminés libres et la dégradation de ces acides aminés en urée par le foie peut être envisagé.

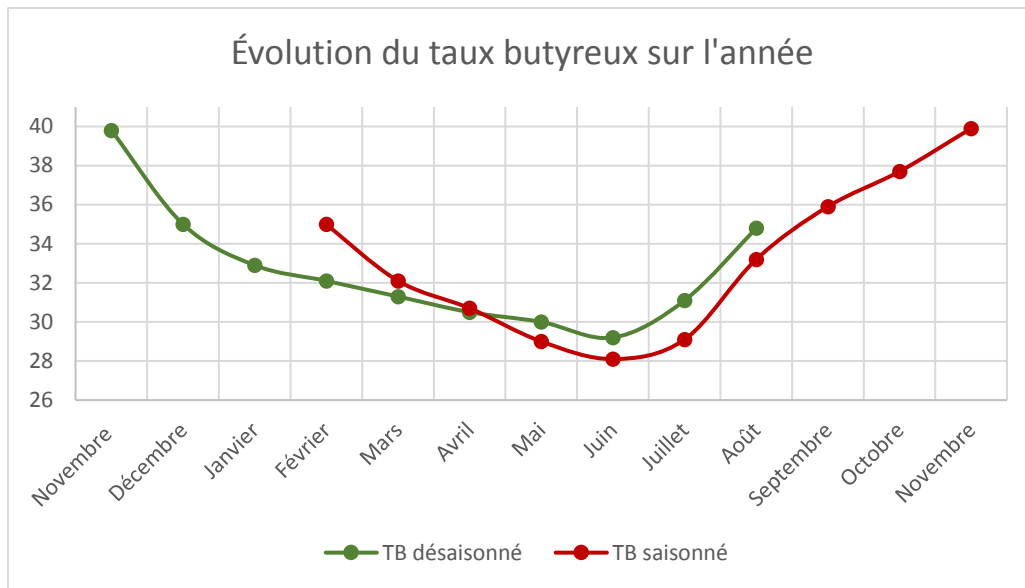
4.2.2.4. Calibration et valeurs seuils des analyseurs

Enfin, nous pouvons également s'interroger sur les valeurs seuils des analyseurs. Ils sont calibrés pour une gamme allant de 100 à 500 mg/L. Au-delà de ce seuil, la valeur urée est moins fiable. Par exemple, sur le jeu de données d'avril 2014, la mesure par pH-métrie donnait 75% des résultats inférieurs à 460 mg/L. Les valeurs d'urée ne doivent donc être comparées qu'avec des échantillons ayant été analysés avec la même calibration. Il reste tout de même une incertitude quant aux données dépassant les 500 mg/L, ce qui représente la catégorie « urée haute ».

4.3. Retour sur l'effet saison

4.3.1. Un effet déjà observé en Poitou-Charentes

Il n'est pas possible de conclure à un effet général de l'alimentation sur le taux d'urée du lait, ce qui rend difficilement explicable l'effet « saison » ou « mois de l'année ». Le lien trouvé entre l'alimentation et les mois de l'année aurait potentiellement pu s'expliquer par le fait que l'alimentation varie au cours de l'année. Cette explication est également réfutée dans une étude réalisée en 2002 dans la région Poitou-Charentes où six systèmes alimentaires différents sont étudiés sur deux-cent-cinquante troupeaux, avec dix à douze contrôles réalisés au cours de la lactation. 90% des valeurs du taux d'urée du lait sont comprises entre 350 et 550 mg/L. Les mêmes variations saisonnières (urée basse au printemps, élevée à l'automne) pour ces six systèmes sont observées (*figure 23*). La variation du taux d'urée n'est donc pas influencée par le régime alimentaire.



Inspiré de l'institut de l'élevage

Figure 24 : Évolution du TB et du TP pour les systèmes saisonnés désaisonnés en fonction des mois de l'année.

Au niveau individuel, ils démontrent une forte variabilité du taux d'urée pour une même chèvre et entre les chèvres ayant les mêmes caractéristiques de production. De plus, ils ont également démontré que le mode de reproduction (saisonné ou désaisonné) ne semble pas avoir d'effet sur le taux d'urée. Il n'est également pas affecté par la production laitière du lot ni par les bilans énergétiques et azotés. Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence les facteurs de variations du taux d'urée du lait, ni de proposer de référence pratique pour une gestion efficace de l'alimentation.

4.3.2. Un effet observé identique malgré les différences spatio-temporelles

L'étude réalisée en Poitou-Charentes date de 2002, depuis les techniques d'élevage et le potentiel des animaux ont évolué, il y a également eu une évolution importante sur la justesse de la mesure du taux d'urée (38% d'erreur contre 15% aujourd'hui). D'autre part, les systèmes alimentaires ne sont pas les mêmes en Rhône-Alpes qu'en Poitou-Charentes. L'étude initiée par la FIDOCL en 2014 visait alors à actualiser ces données dans leur région, valider les plages urée définies par le PEP sur la ferme expérimentale du Pradel, et répondre à la demande des conseillers caprins sur la valorisation du taux d'urée comme il est pratiqué en bovin lait. Malgré cela, les mêmes conclusions ont été établies, à savoir une variation de l'urée en fonction des saisons.

Pour expliquer l'effet des mois de l'année, un lien probable entre la température extérieure et le taux d'urée du lait pourrait être envisagé, avec une action au niveau métabolique. Cela pourrait aussi dépendre de l'ambiance générale dans la chèvrerie, les températures ambiantes, du taux d'humidité, etc. Des relevés de températures extérieures en chèvrerie et de températures corporelles au niveau individuel, mis en parallèle avec le taux d'urée du lait, pourrait vérifier cette hypothèse.

4.3.3. Des variations saisonnières à l'image du taux butyreux

Chez les chèvres laitières, le TB est plus faible en été lorsque les jours sont longs, c'est-à-dire au mois d'avril, mai et juin (*figure 24*). De plus, les fortes températures estivales provoquent une baisse du TB en début de l'été. Cette tendance est observée aussi bien en système saisonné qu'en désaisonné. Cela s'explique en partie par la baisse d'ingestion de fourrages avec les chaleurs estivales, mais l'alimentation n'est pas le seul facteur qui provoque cette baisse. En effet, le TB dépend de plusieurs facteurs tels que la race, la génétique, la saison, le stade de lactation, etc.

À l'image des variations du TB, il existe peut-être des variations saisonnières de l'urée que nous ne pouvons expliquer scientifiquement, mais qui reposent sur des analyses à dire d'expert.

4.4. Perspectives d'utilisation à des fins de conseils techniques

4.4.1. Une utilisation différente pour chaque exploitation

L'utilisation de l'urée comme outil de pilotage économique de la ration est donc propre à chaque exploitation. Grâce à l'analyse « à dire d'expert » il est possible d'expliquer les variations de l'urée au sein d'une exploitation donnée. Plusieurs facteurs sont pris en compte : les valeurs MAT des fourrages utilisés, la valeur du taux d'urée aux contrôles précédents, etc. Il serait alors possible d'utiliser l'indicateur urée, de façon individuelle pour chaque exploitation. Sachant cela,

un protocole d'analyse et d'utilisation de l'urée peut être facilement mise en place dans chaque exploitation :

1. Il faudrait tout d'abord mettre en place un « historique urée ». Cela correspondrait à un relevé des valeurs de l'urée sur une année témoin. Il faut cependant faire attention aux caractéristiques de l'année où s'effectue la mesure témoin : cela peut être une année où il y a eu beaucoup de maladies, où les données climatiques n'ont pas été favorables, etc.
2. En vue de cet historique, il s'agirait ensuite de définir, en relation avec les performances technicoéconomiques de l'exploitation, des valeurs de références propres à l'exploitation pour le taux d'urée du lait.
3. Après avoir défini ces références, les éleveurs et techniciens vont comparer les résultats urée du contrôle avec les références de l'exploitation et, avec l'aide des fiches de références créées, l'alimentation pourra être ajustée si besoin.

Les résultats en termes d'impact des facteurs alimentaires sur l'urée sont relativement restreints. Malgré tout, une nouvelle approche de l'urée a pu être proposée. L'outil urée ne peut pas être défini sur une base régionale, mais être utilisé différemment selon les exploitations. Les conseils des techniciens pourront être différents d'une exploitation à l'autre même si certaines possèdent les mêmes valeurs urée. Cet indicateur vient renforcer le panel d'indicateurs déjà utilisés dans le conseil apporté aux éleveurs pour optimiser la production dans un double objectif technique et économique.

4.4.2. D'autres utilisations de l'urée du lait en exploitation caprine

4.4.2.1. Une aide dans la transformation fromagère

Le taux d'urée du lait pourrait s'avérer être un outil utile également dans la transformation fromagère notamment pour les exploitations fermières fromagères. En effet, à l'échelle de l'exploitation, la variabilité de l'urée est plus importante qu'en laiterie où tous les laits sont mélangés. Les travaux sur le Reblochon ont montré un ralentissement de l'acidification avec des laits plus riches en urée, l'inhibition des activités acidifiantes des bactéries lactiques thermophiles étant évoquée (Laithier *et al.*, 2012). Un excès d'urée engendrait des caillés plus mous et plus humides du fait de la diminution en proportion des caséines. Le taux d'urée pourrait permettre une anticipation sur la fabrication des fromages et d'ajuster les techniques en fonction de ce taux.

4.4.2.2. Des impacts possibles sur la reproduction

Un taux d'urée du lait trop élevé ou trop bas aurait une influence négative sur la reproduction et la fertilité des vaches laitières (Biswajit *et al.*, 2011). Des recherches ont démontré qu'un excès de PDI provoque une baisse du pH utérin pendant la phase lutéale associée à une réduction de la fertilité (Elrod et Butler, 1993). L'alimentation joue un rôle important dans les objectifs de reproduction (Biswajit *et al.*, 2011). Il aurait également été intéressant d'avoir des données sur la reproduction telles que le taux de fertilité ou le nombre d'avortements pour pouvoir étudier le facteur reproduction en chèvres laitières. Nous pouvons également poser la question de l'héritabilité du taux d'urée. En effet, la génétique pourrait expliquer en partie le manque de significativité entre l'urée et les facteurs alimentaires.

CONCLUSION

La recherche d'outils de diagnostics fiables et précis en élevage commercial est une problématique majeure des systèmes laitiers. L'indicateur urée du lait est déjà utilisé en élevage bovin pour le conseil alimentaire. Dans ce contexte, l'expérimentation menée en Rhône-Alpes avait pour but d'utiliser cet indicateur pour l'espèce caprine. L'objectif était d'évaluer l'effet des facteurs zootechniques, des facteurs alimentaires et des pratiques d'élevages sur les variations du taux d'urée du lait chez la chèvre laitière. L'étude est alors réalisée sur des exploitations non expérimentales pour être dans les situations réelles d'élevage.

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence les relations attendues entre le taux d'urée du lait et les différents facteurs d'étude (quantité de lait, alimentation, etc.). Des zones de confort n'ont pas pu être définies : le taux d'urée du lait est apparu très variable d'une chèvre à l'autre, sans pour autant que les chèvres ayant des teneurs en urée extrêmes présentent des caractéristiques distinctes. Concernant les facteurs zootechniques, l'interaction des variables Race, Stade de lactation, Quantité de lait journalière et le TB jour est significative mais ne permet d'expliquer seulement 15 % des variations du taux d'urée du lait. Seul l'effet des mois de l'année est réellement significatif et permet d'expliquer 50% des variations de l'urée. L'urée est plus basse au printemps (autour de 280 mg/L) et réaugmente à l'automne (autour de 530 mg/L). Cependant cette interaction est difficilement explicable. Plusieurs hypothèses explicatives ont été avancées sans certitude scientifique à ce jour.

Aucun effet des différents systèmes alimentaires n'a été observé. Il faut noter que les niveaux alimentaires sont difficiles à estimer en élevage caprin. Aujourd'hui l'alimentation caprine est établie à partir d'un animal cible, la ration est alors très souvent en excédent d'azote sur la majorité des chèvres du troupeau. Cette alimentation trop riche en azote pourrait alors expliquer l'absence de réponse du taux d'urée aux variations des bilans alimentaires. L'étude n'a donc pas permis de proposer des références pratiques pour un gestion efficace de l'alimentation.

La mise en place du dispositif expérimental est critiquable par le fait que l'on doit travailler à plusieurs échelles : les résultats du contrôle laitier sont individuels tandis que les données alimentaires sont les mêmes pour un lot.

Cette expérimentation met en évidence qu'il n'est pas toujours possible de reproduire les résultats établis en fermes expérimentales sur les fermes commerciales. En effet, les pratiques d'élevage ne sont pas les mêmes : notamment au niveau de l'alimentation où elles peuvent être individualisées en fermes expérimentales. De même, les expériences réalisées en bovin ne sont pas toujours applicables en caprin.

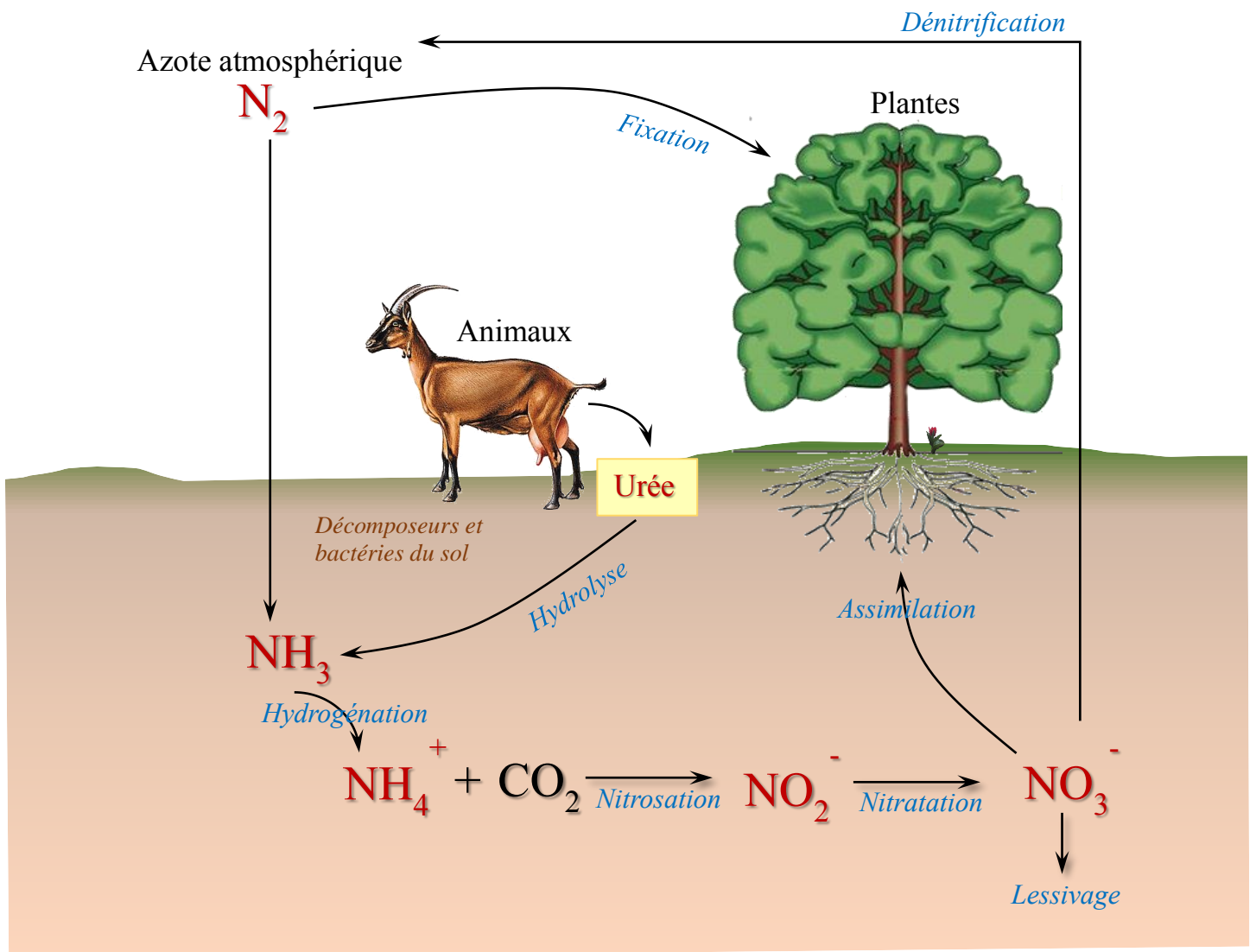
L'analyse individuelle « à dire d'expert » sur des exploitations choisies selon leur profils d'urée, a permis d'expliquer les variations du taux d'urée du lait, notamment grâce au niveau de MAT des fourrages et concentrés utilisés. Des fiches références ont alors pu être créées, et un protocole sur le suivi urée spécifique à chaque exploitation est envisageable : grâce à une référence définie en fonction des données technicoéconomiques de l'élevage et d'un historique urée de l'exploitation, les techniciens pourront apporter un conseil personnalisé et adapté aux pratiques de l'éleveur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERTRAND E. (2013). Lait's go Spécial urée. *La revue des Conseil Élevage de la FIDOCL*, 11, p1-8.
- BISWAJIT R., BRAHAM B., GHOSH S., PANKAJ P.K., MANDAL G., 2011. Évaluation of Milk Urea Concentration as Useful Indicator for Dairy Herd Management: A review. In: *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 6 (1): 1-19, 2011. © 2011 Academic Journals Inc.
- BLOCK E., DEPATIE C., LEFEBVRE D., PETITCLERCD., 1998. L'urée du lait : Les sources de variation et les implications. In : Conseil des productions animales du Québec (CPAQ). Symposium sur les bovins laitiers, 78-87.
- BRODERICK G., CLAYTON M., 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentration of milk urea nitrogen. *J Dairy Science* 80 : 2964-2971.
- CISZUK P., GEBREGZIABHER T., 1994. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand., Sect. An Animal Sc.*, 44, 87-95.
- DUFRASNE I., ISTASSE L., LAMBERT R., ROBAYE V., HORNICK J-L., 2010. Étude des facteurs environnementaux influençant la teneur en urée dans le lait de vache en Wallonie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2010 14(S1), 59-66.
- ELROD C.C., BUTLER W.R., 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J. Anim. Sci.* 71 : 694-701.
- FAVERDIN P., VERITE R., 1998. Utilisation de la teneur en urée du lait comme indicateur de la nutrition protéique et des rejets azotés chez la vache laitière. In : *Renc. Rech. Ruminants*, n°5, 209-212.
- GRIAZRD J., ATTAIX D., CHAMPREDON C., BONIN D., ARNAL M., 1988. Orientations et coordinations hormonale du métabolisme protéique chez les ruminants. *Reprod. Nutr. Dévelop.* 1988, 28 (1), 19-37.
- LAGRIFFOUL G., GUITARD J.P., ARRANZ J.M., AUTRAN P., DRUX B., DELMAS G., GAUTIER J.M, JAUDON J.P., MORIN E., SABY C., VACARESSE C., VAN QUACKEBEKE E., BOCQUIER F., 1999. Influence du taux de couverture des besoins azotés des brebis laitières sur la production de lait et sa teneur en urée. In : *Renc. Rech. Ruminants*, n°6, 166.
- LAITHIER C., RAYNAUD S., BONNES A., DOUTART E., LOPEZ C., DUMONTHIER P., MORGE S., BARRAL J., REYNAUD C., LEFRILEUX Y., GAÛZERE Y., ROSSIGNOL L., ALLUT G., PETRIER M., LEROUX V., DEMARIGNY Y., TORMO H., LEFIER D., BEUVIER E.12, CALLON C., MONTEL M.C., LESTY M., ANGLADE P., DURAND G., RAY J.C., CHABANON A., LE RAVALLEC P., LESTY M., BLANCHARD B., 2012. Contribuer à la performance technico-économique des exploitations fromagères fermières en améliorant la maîtrise technologique et la qualité des fromages. *Innovations Agronomiques* 25 (2012), 269-282
- LEFEBVRE D., 1996. L'urée du lait : Un outil de plus à votre disposition. In : *Le producteur de lait Québécois* 16 (5), 13-15.

- LEFEBVRE D., LACROIX R., 2010. L'urée du lait, pour optimiser la protéine de la ration. In : Le producteur de lait Québécois, Juin 2010, 34-36.
- LEGARTO J. (coord.), 2011. L'alimentation pratique des chèvres laitières. Édité par l'Institut de l'Élevage, collection les incontournables, Paris, 216 pages.
- MENDOZA J., 2007. Use of Machine-Learning and Visualization Techniques in the Evaluation of Factors Affecting Milk Urea Nitrogen. Dossier complet. Montreal, Canada, 2007.
- MORAND-FEHR P., SAUVANT D., BAUMONT R., 2012. Avant-propos, un dossier sur l'élevage caprin : pourquoi ? In : Élevage caprin. Baumont R., Sauvant D. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim. Vol 25,n°3, 227-232.
- OLTNER R., EMANUELSON M., WIKTORSSON H., 1985. Urea concentrations in milk in relation to milk yield, live weight, lactation number and amount and composition of feed given to dairy cows. *Livestock Production Science*, 12, 47-57, 1985 – Elsevier
- PROTAT S., 2003. Taux d'urée du lait de chèvre. Fédération Régionale des Contrôles Laitiers de Poitou-Charentes, dossier complet.
- RAPETTI L., BRUNI G., ZANATTA G., PENATI C., COLOMBINI S., 2013. Urea nel latte caprino : contenimento dell'escrezione azotata e riduzione del costo della razione. In : Carnet de recherche n°151. Dans le cadre du projet n°1334, D.g.r. 30/03/2009 n. VIII/9182 - Piano per la ricerca e lo sviluppo 2009.
- SAUVANT D., GIGER-REVERDIN S., MESCHY F., PUILLET L., SCHMIDELY P., 2012. Actualisation et recommandations alimentaires pour les chèvres laitières. *INRA Prod. Anim.* 2013. 25 (3). 259-276.
- SAUVANT D., CANTALAPIEDRA-HIJAR G., DELABY L., DNAIEL J-B., FAVERDIN P., NOZIERE P., 2015. Actualisation des besoins protéiques des ruminants et détermination des réponses des femelles laitières aux apports de protéines digestibles dans l'intestin. In : Élevage caprin. Baumont R., Sauvant D. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim. Vol 25, n°3, 347-368.
- WATTIAUX M., NARDHEIM E., CRUMP P., 2005. Statistical Evaluation of Factors and Interactions Affecting Dairy Herd Improvement Milk Urea Nitrogen in Commercial Midwest Dairy Herds. *J Dairy Sci.* 88:3020–3035 © American Dairy Science Association, 2005.

Annexe I : Schéma simplifié du cycle de l'azote dans l'environnement



Inspiré de Rapetti et al., 2009

Annexe II : Calcul de la quantité de fourrage réellement ingérée par la chèvre à l'aide de la capacité d'ingestion

Détail du raisonnement :

Le troupeau est séparé en trois catégories en fonction de leur production laitière : **faibles, moyennes, cibles**. Cette séparation se fait selon les quartiles de production laitière grâce aux boxplot (*annexe III*).

À chaque contrôle, les moyennes des quantités de lait et des taux sont ensuite calculés, ainsi que le lait standard (LS). Le poids vif est fixé à 70 kg.

LS (Lait Standard) = Taux de conversion * Lait brut (en kg lait/j/chèvre)

Où Taux de conversion = $0,264 + (0,01375*TB) + (0,00825*TP)$, avec TB et TP en g/kg

La quantité de fourrage distribuée et enregistrée dans les rations correspond à ce qu'ingèrent les chèvres moyennes.

Pour estimer ce qu'ingèrent les chèvres faibles et les chèvres cibles, le rapport des capacités d'ingestion (CI) est calculé (*tableau ci-dessous*), il est ensuite multiplié par la quantité de fourrage distribuée :

	Quantité fourrage distribuée et enregistrée	Rapport CI	Quantité fourrage réellement ingérée
Faibles	X	$R_1 = CI_f/CI_m$	$X*R_1$
Moyennes	X		X
Cibles	X	$R_2 = CI_c/CI_m$	$X*R_2$

Avec :

CI_f : Capacité d'Ingestion des faibles

CI_m : Capacité d'Ingestion des moyennes

CI_c : Capacité d'Ingestion des cibles

UEL correspondant au format moyen : 60 kg de PV

↓

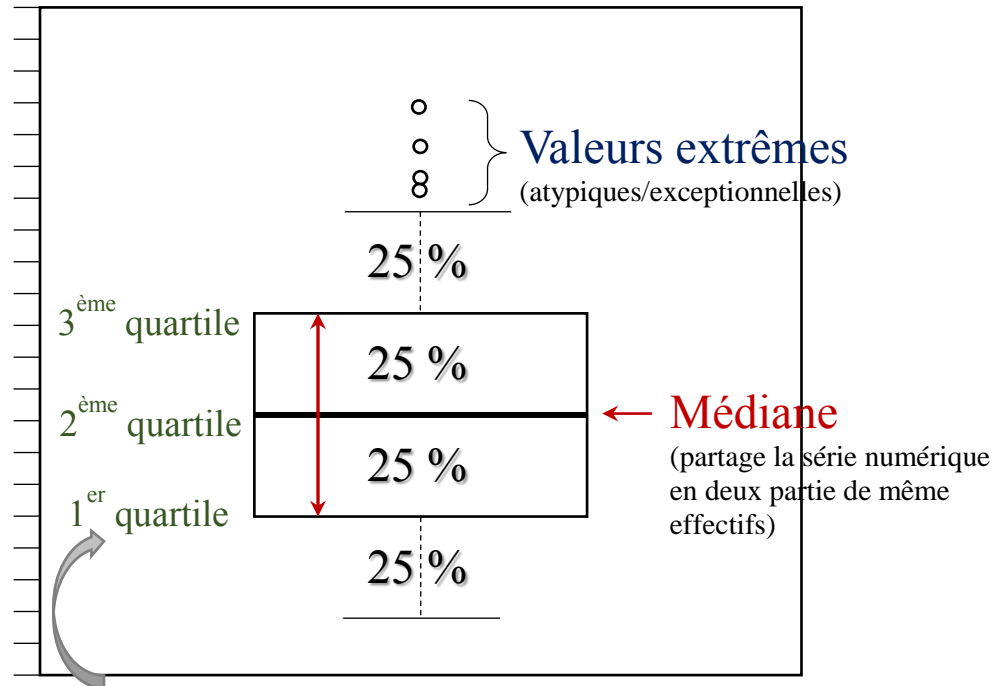
Coefficients multiplicateurs

↙ ↘

$$CI \text{ (Capacité d'Ingestion)} = 1,3 + \underbrace{0,016*(PV - 60)}_{\text{Ajustement au poids}} + \underbrace{0,24*LS}_{\text{Ajustement au lait produit et au taux}}$$

Avec PV : Poids vif

Annexe III : Détails des variations autour d'un boxplot

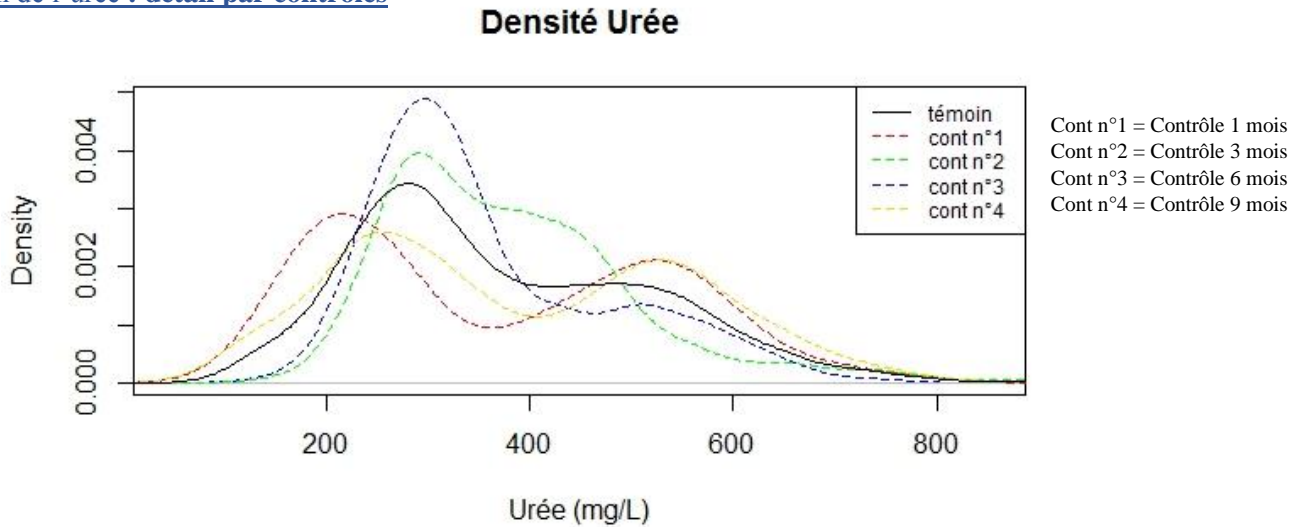


Quartile : chacune des trois valeurs qui divisent les données tirées en quatre parts égales.

Annexe IV : Répartition du taux d'urée du lait selon différents critères

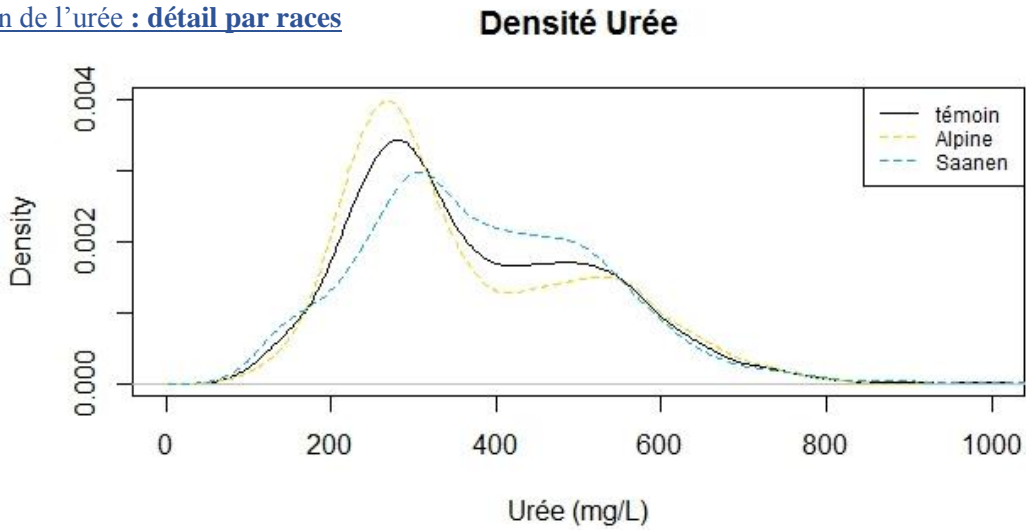
*La courbe appelée « témoin » représente la courbe générale où toutes les chèvres de la base de données, pour tous les contrôles, sont présentes.

• Répartition de l'urée : détail par contrôles



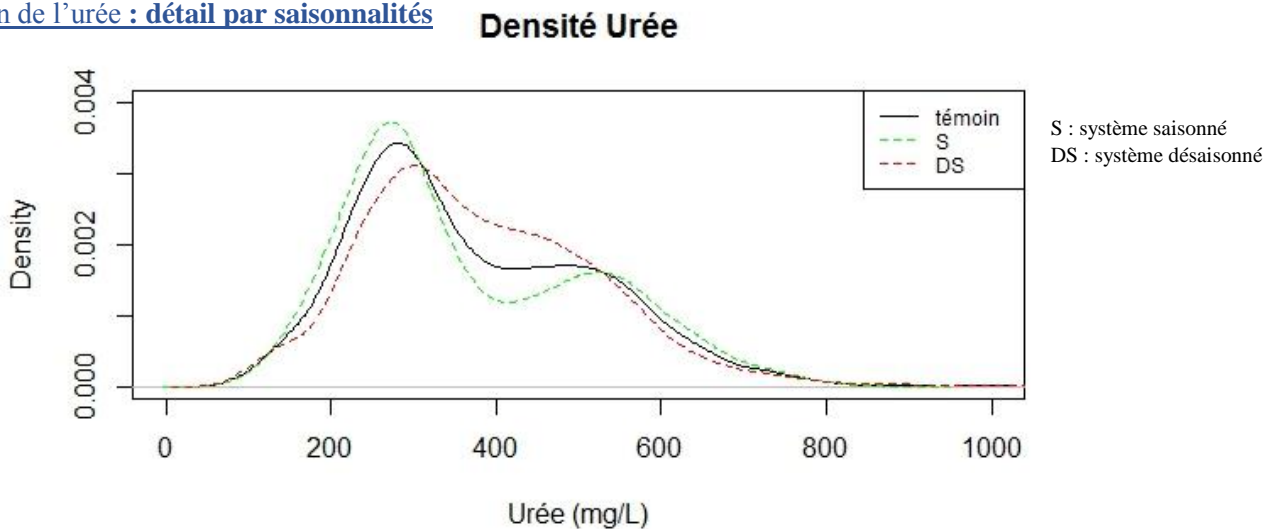
Répartition de l'urée au sein de la base de données en distinguant les 4 contrôles

• Répartition de l'urée : détail par races



Répartition de l'urée au sein de la base de données en distinguant les deux races Alpine et Saanen

• Répartition de l'urée : détail par saisonnalités



Répartition de l'urée au sein de la base de données en distinguant la saisonnalité des systèmes

Annexe V : Recherche des caractéristiques des catégories extrêmes

Toutes les valeurs ci-dessous sont basées sur des valeurs moyennes, des tests de significativités ont été réalisés, aucune différence ne s'est avérée significative. La valeur de p.value est obtenue à l'aide d'un test de comparaison des moyennes, elle indique la significativité de la différence entre les trois moyennes.

Urée jour	Race	Parité	Saisonnalité
0-250	Alpine : 62 % Saanen : 38%	Primipare : 26% Multipare : 74%	Saisonnée : 61% Désaisonnée : 39%
250-500	Alpine : 52% Saanen : 48%	Primipare : 31% Multipare : 69%	Saisonnée : 49% Désaisonnée : 51%
500 et +	Alpine : 54 % Saanen : 46 %	Primipare : 30% Multipare : 70%	Saisonnée : 57% Désaisonnée : 43%

Tableau Va : caractéristiques des zones selon des critères qualitatifs

Urée jour	N° lactation	Stade de lactation	p.value
0-250	3	121	N° lactation = 0,05685 Stade de lactation = 0,05074
250-500	2,8	132	
500 et +	2,9	154	

Tableau Vb : caractéristiques des zones selon le nombre et l'avancement de lactation de la chèvre

Urée jour	NEC Lombaire	NEC Sternale	p.value
0-250	2,5	2,8	NEC L. = 0,8587 NEC S. = 0,6134
250-500	2,5	2,7	
500 et +	2,5	2,7	

Tableau Vc : caractéristiques des zones selon les NEC

Urée jour	TB jour	TP jour	TB/TP	Cellules	Lait jour	p.value
0-250	35,4	31,8	1,11	1513	2,7	TB = 0,2129 TP = 0,1479 TB/TP = 0,05673 Cellules = 0,08282 Lait jour = 0,2011
250-500	35	31,9	1,10	1625	2,7	
500 et +	37,9	34,3	1,11	1698	2,3	

Tableau Vd : caractéristiques des zones selon les données issues du contrôle laitier

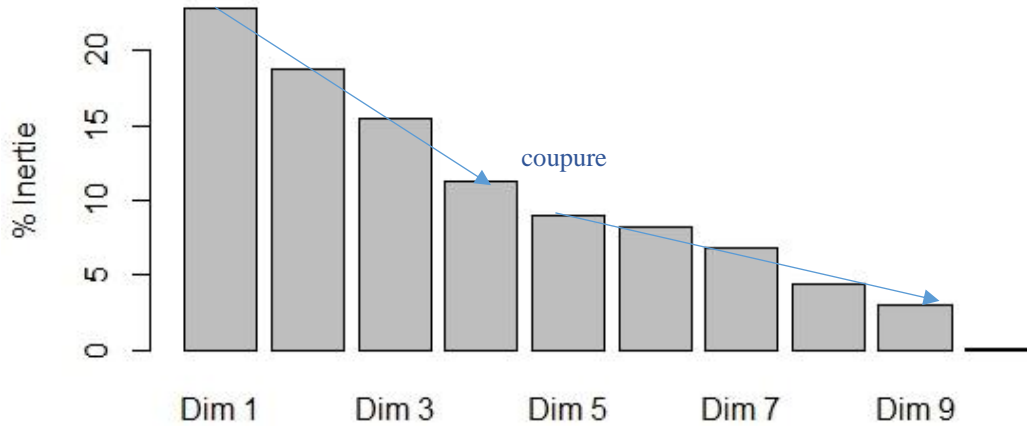
Urée jour	MS tot consommée (kg)	PDIN	PDIE	MAT	Rmic	p.value
0-250	2,6	249,7	238,6	15,1	5,05	MS = 0,05002 PDIN = 0,7743 PDIE = 0,7626 MAT = 0,06354 Rmic = 0,05651*
250-500	2,7	279,9	259,4	15,7	8,09	
500 et +	2,6	273,3	249,9	15,9	10,8	

*tendance observable

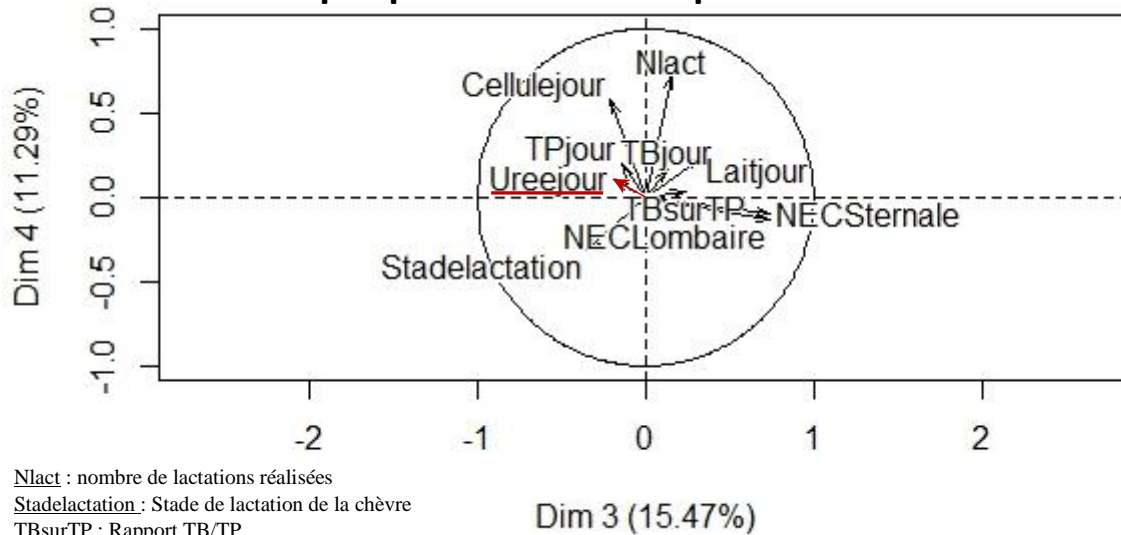
Tableau Ve : caractéristiques des zones selon les données alimentaires

Annexe VI : Graphiques de l'ACP comparant les variables zootechniques dans le but d'établir des corrélations (a)

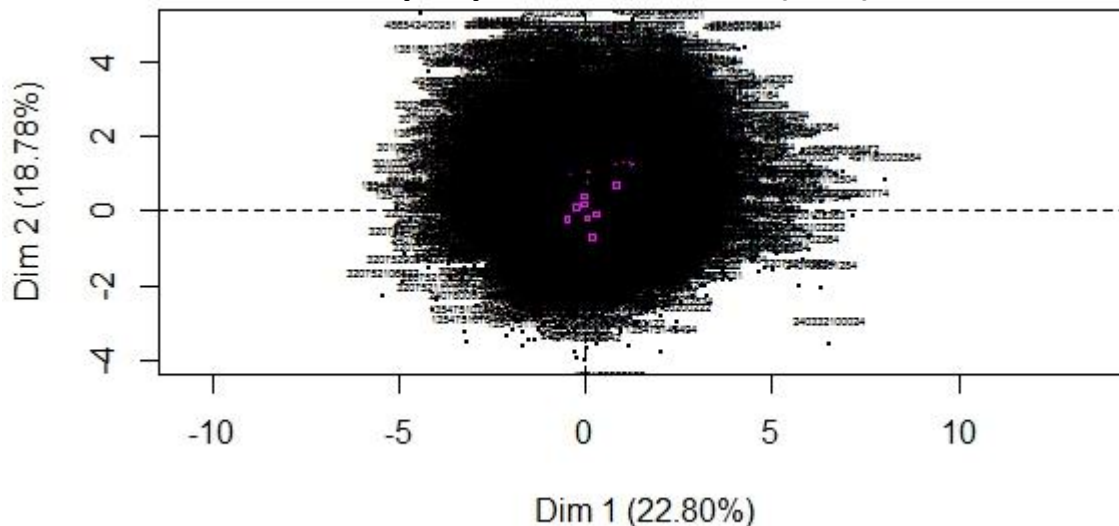
Diagramme des Inerties selon les dimensions de l'ACP



Graphique des variables pour les axes 3 et 4



Graphique des individus (ACP)



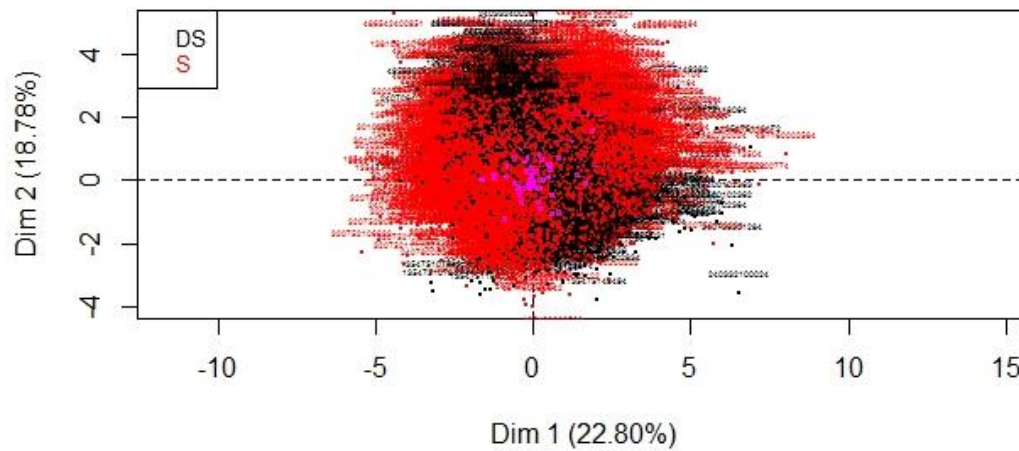
En rose : les modalités des variables qualitatives (représentées au barycentre des individus qui prennent cette modalité). Dans cette annexe, les variables qualitatives sont la race, la saisonnalité et les mois de l'année

Annexe VI : Graphiques des individus de l'ACP coloriés selon différentes variables qualitatives (b)

Rouge : chèvres saisonnées

Noir : chèvres désaisonnées

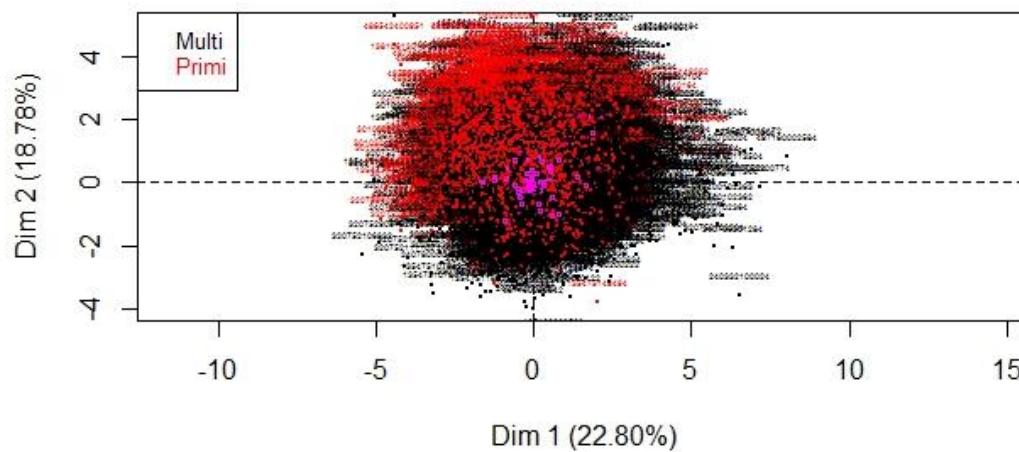
Individuals factor map (PCA)



Rouge : chèvres primipares

Noir : chèvres multipares

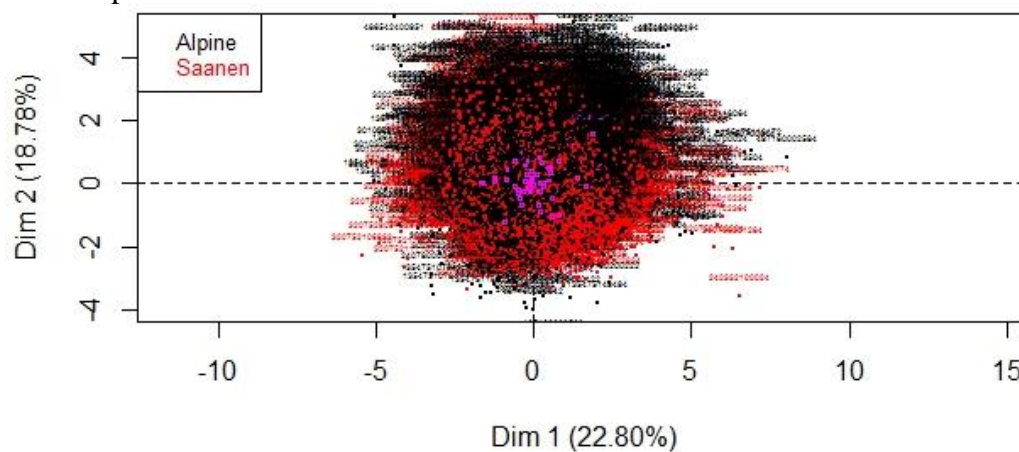
Individuals factor map (PCA)



Rouge : chèvres Saanens

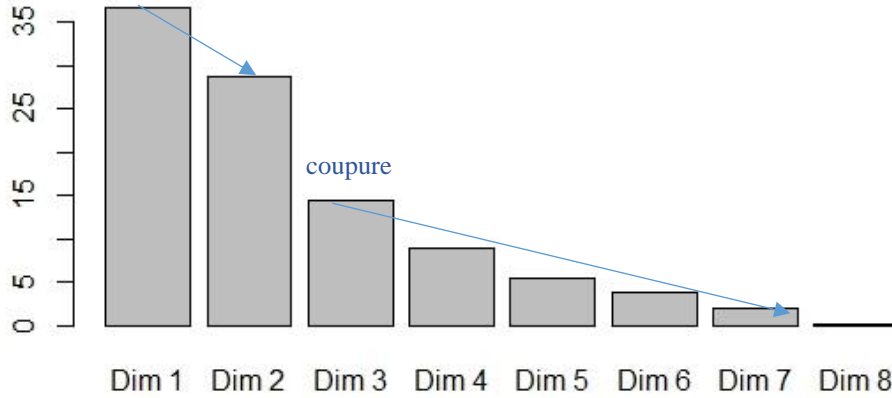
Noir : chèvres Alpines

Individuals factor map (PCA)

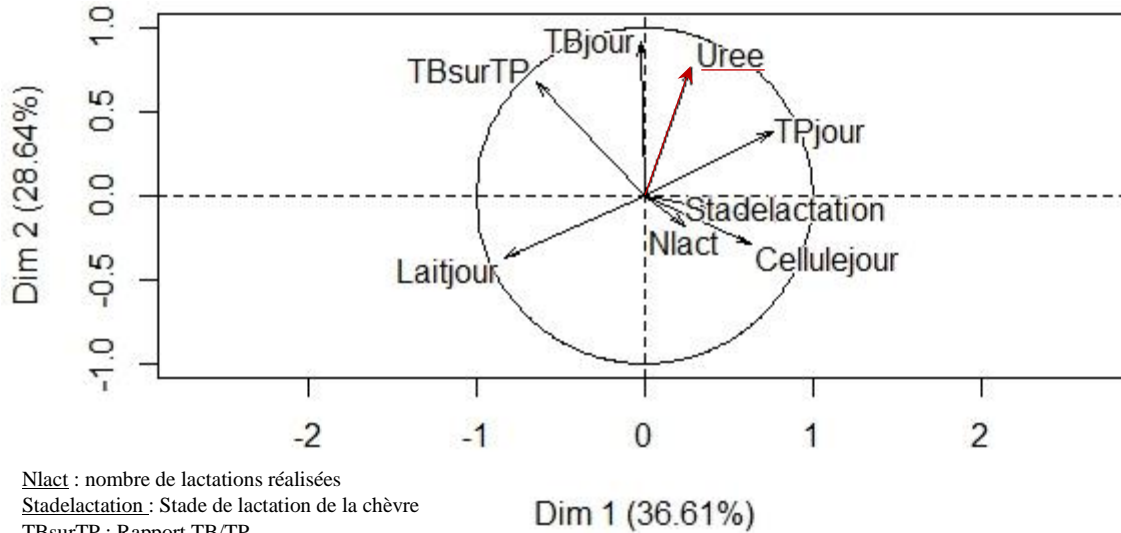


Annexe VII : Graphiques de l'ACP où les individus sont regroupés par catégories d'urée

Diagramme des Inerties selon les dimensions de l'ACP

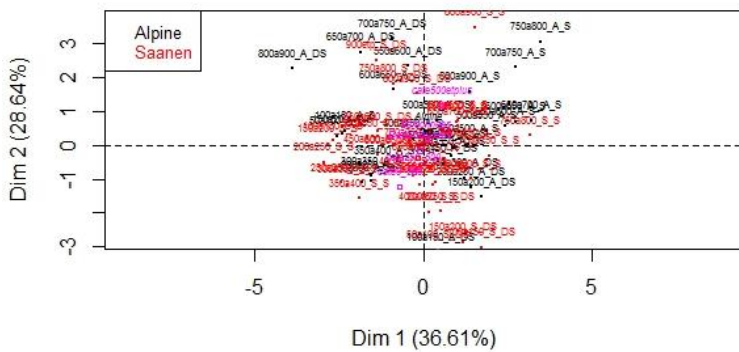


Graphique des variables pour les axes 1 et 2

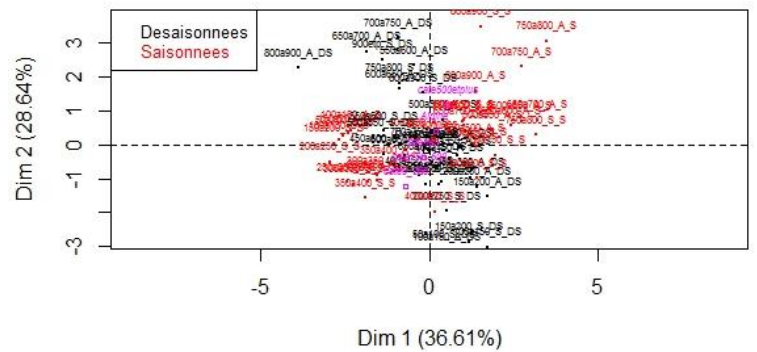


Nlact : nombre de lactations réalisées
Stadelactation : Stade de lactation de la chèvre
TBsurTP : Rapport TB/TP

Individuals factor map (PCA)



Individuals factor map (PCA)



En rose : les modalités des variables qualitatives (représentées au barycentre des individus qui prennent cette modalité).

Annexe VIII : Détails et explications de la régression multiple (1)

Analyse du modèle régressions multiples avec R (données zootechniques)

ANOVA

Base de données : 6754 Observations, 79 variables

```
> mod=lm(Ureejour~Race+Moisstadelact+Nlact+Laitjour+Mois+Parite+Saisonnalite+NECLominaire+NECSternale+
TPjour+TBjour+TBSurTP+Cellulejour+Numcont,data)
```

```
> anova(mod)
```

Analysis of Variance Table

Response: Ureejour

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Race	1	749189	749189	90.9466	< 2.2e-16 ***
Moisstadelact	1	1545207	1545207	187.5780	< 2.2e-16 ***
Nlact	1	5205	5205	0.6318	0.42679
Laitjour	1	853781	853781	103.6435	< 2.2e-16 ***
Mois	11	16887042	1535186	186.3615	< 2.2e-16 ***
Parite	1	34372	34372	4.1725	0.04124 *
Saisonnalite	1	195953	195953	23.7874	1.176e-06 ***
NECLominaire	1	143993	143993	17.4799	3.050e-05 ***
NECSternale	1	522428	522428	63.4194	3.017e-15 ***
TPjour	1	694	694	0.0842	0.77170
TBjour	1	321819	321819	39.0667	5.158e-10 ***
TBSurTP	1	38930	38930	4.7259	0.02985 *
Cellulejour	1	651	651	0.0790	0.77867
Numcont	3	1263950	421317	51.1451	< 2.2e-16 ***
Residuals	1713	14111138	8238		

Modèle 1

Nlact, TP jour et Cellules sont non significatif, ne permet pas d'expliquer l'urée jour

Modèle à refaire en enlevant les variables non significatives

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Détail du modèle

```
> summary(mod)
```

Call:

```
lm(formula = Ureejour ~ Race + Moisstadelact + Nlact + Laitjour +
    Mois + Parite + Saisonnalite + NECLominaire + NECSternale +
    TPjour + TBjour + TBSurTP + Cellulejour + Numcont, data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-324.55	-53.10	-8.76	48.28	630.91

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.205e+01	9.526e+01	0.651	0.51492
RaceSaanen	8.778e-01	6.275e+00	0.140	0.88876
Moisstadelact	8.359e+00	3.705e+00	2.256	0.02421 *
Nlact	1.938e+00	1.844e+00	1.051	0.29346
Laitjour	-4.317e+00	2.957e+00	-1.460	0.14457
MoisAvril	5.216e+01	1.577e+01	3.308	0.00096 ***
MoisDecembre	3.031e+02	1.814e+01	16.703	< 2e-16 ***
MoisFevrier	1.631e+02	1.884e+01	8.657	< 2e-16 ***
MoisJanvier	8.333e+01	2.544e+01	3.276	0.00107 **
MoisJuillet	7.116e+01	1.697e+01	4.194	2.88e-05 ***
MoisJuin	9.859e+01	1.582e+01	6.231	5.83e-10 ***
MoisMai	3.579e+01	1.620e+01	2.209	0.02729 *
MoisMars	3.338e+01	1.287e+01	2.594	0.00956 **
MoisNovembre	2.601e+02	1.817e+01	14.313	< 2e-16 ***
MoisOctobre	3.362e+02	1.678e+01	20.035	< 2e-16 ***
MoisSeptembre	1.717e+02	1.484e+01	11.567	< 2e-16 ***
ParitePrimi	3.912e+00	6.972e+00	0.561	0.57485
Saisonnalites	3.226e+01	6.558e+00	4.919	9.52e-07 ***
NECLominaire	1.036e+01	8.586e+00	1.207	0.22756
NECSternale	-4.783e+01	7.523e+00	-6.358	2.62e-10 ***
TPjour	1.865e+00	2.786e+00	0.670	0.50317
TBjour	-3.458e-01	2.444e+00	-0.141	0.88750
TBSurTP	1.146e+02	7.899e+01	1.451	0.14707
cellulejour	-6.389e-04	1.171e-03	-0.546	0.58539
Numcont2	6.218e+01	1.155e+01	5.383	8.33e-08 ***
Numcont3	1.088e+02	1.877e+01	5.797	8.02e-09 ***
Numcont4	2.116e+01	2.899e+01	0.730	0.46554

Les variables « Mois de l'année », « stade de lactation par mois » et « Numéro de contrôle » sont sûrement corrélées pour certaines chèvres, car elles se recoupent. Deux des trois sont à enlever du modèle

Interaction entre les variables parité et Nlact
Nlact va être enlevé du modèle car non significatif

Interaction entre les variables TB jour, TP jour et TB/TP

TP jour va être enlevé du modèle car non significatif, TB/TP est enlevé car il est « moins significatif » que TB jour

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 90.76 on 1713 degrees of freedom (5014 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.6152, Adjusted R-squared: 0.6094

F-statistic: 105.3 on 26 and 1713 DF, p-value: < 2.2e-16

R² élevé mais trop de variables ici → saturation du modèle

Annexe VIII : Détails et explications de la régression multiple (2)

Analyse du modèle régressions multiples avec R (données zootechniques)

ANOVA

```
> mod2=lm(Ureejour~Race+Moisstadelact+Laitjour+Parite+Saisonnalite+NECLombaire+NECSternale+TBjour , data)
> anova(mod2)
Analysis of Variance Table

Response: Ureejour
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Race 1 749189 749189 40.0382 3.164e-10 ***
Moisstadelact 1 1545207 1545207 82.5791 < 2.2e-16 ***
Laitjour 1 839723 839723 44.8765 2.829e-11 ***
Parite 1 6237 6237 0.3333 0.56378
Saisonnalite 1 423 423 0.0226 0.88045
NECLombaire 1 184 184 0.0099 0.92093
NECSternale 1 175784 175784 9.3943 0.00221 **
TBjour 1 967406 967406 51.7002 9.579e-13 ***
Residuals 1731 32390200 18712
---
```

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Modèle 2

→ ajustement du premier modèle

Variables non significatives

↳ *Modèle à refaire en enlevant
Parité, Saisonnalité et NEC
Lombaire*

```
> summary(mod2)
```

Call:

```
lm(formula = Ureejour ~ Race + Moisstadelact + Laitjour + Parite +  
    Saisonnalite + NECLombaire + NECSternale + TBjour, data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-341.91	-96.93	-19.47	88.98	783.69

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	275.8840	38.6381	7.140	1.37e-12 ***
RaceSaanen	46.4851	7.7651	5.986	2.60e-09 ***
Moisstadelact	8.5981	1.4212	6.050	1.77e-09 ***
Laitjour	-19.7665	4.1737	-4.736	2.36e-06 ***
ParitePrimi	-14.6002	7.7119	-1.893	0.05850 .
Saisonnalites	-6.1371	7.8690	-0.780	0.43555
NECLombaire	18.4698	12.4598	1.482	0.13843
NECSternale	-30.9106	10.6921	-2.891	0.00389 **
TBjour	3.7140	0.5165	7.190	9.58e-13 ***

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 136.8 on 1731 degrees of freedom
(5014 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1168, Adjusted R-squared: 0.1127
F-statistic: 28.62 on 8 and 1731 DF, p-value: < 2.2e-16

Annexe VIII : Détails et explications de la régression multiple (3)

Analyse du modèle régressions multiples avec R (données zootechniques)

ANOVA

```
> mod3=lm(Ureejour~Race+Moisstadelact+Laitjour+NECSternale+TBjour ,data)
```

```
> anova(mod3)
```

Analysis of Variance Table

Response: Ureejour

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Race	1	749189	749189	41.7970	1.314e-10	***
Moisstadelact	9	2673533	297059	16.5728	< 2.2e-16	***
Laitjour	1	1117236	1117236	62.3302	5.121e-15	***
NECSternale	1	86121	86121	4.8047	0.02852	*
TBjour	1	1110639	1110639	61.9622	6.133e-15	***
Residuals	1726	30937636	17924			

Modèle 3

→ ajustement du deuxième modèle

Toutes ces variables sont significatives, elles permettent d'expliquer (en partie) l'urée jour

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(mod3)
```

Call:

```
lm(formula = Ureejour ~ Race + Moisstadelact + Laitjour + NECSternale +  
    TBjour, data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-323.35	-94.36	-21.02	84.75	752.75

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	206.5294	37.0718	5.571	2.93e-08	***
RaceSaanen	56.4097	6.8624	8.220	3.95e-16	***
Moisstadelact2	83.0265	12.9564	6.408	1.90e-10	***
Moisstadelact3	99.7075	13.7814	7.235	6.97e-13	***
Moisstadelact4	104.9683	13.7271	7.647	3.40e-14	***
Moisstadelact5	111.4738	18.2792	6.098	1.32e-09	***
Moisstadelact6	72.5290	15.7821	4.596	4.63e-06	***
Moisstadelact7	73.1398	14.9044	4.907	1.01e-06	***
Moisstadelact8	198.7231	22.2426	8.934	< 2e-16	***
Moisstadelact9	121.8893	14.2051	8.581	< 2e-16	***
Moisstadelact10	123.9799	17.9695	6.899	7.30e-12	***
Laitjour	-21.9036	3.8193	-5.735	1.15e-08	***
NECSternale	-13.5684	7.6540	-1.773	0.0764	.
TBjour	4.1033	0.5213	7.872	6.13e-15	***

Significatif seulement au seuil de 10% pour la NEC Sternale

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 133.9 on 1726 degrees of freedom

(5014 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1564, Adjusted R-squared: 0.1501

F-statistic: 24.62 on 13 and 1726 DF, p-value: < 2.2e-16

R² très faible : les variables *Race*, *Mois de lactation*, *Lait jour*, *TB jour* (et *NEC Sternale*) sont significatives dans ce modèle mais ne permettent d'expliquer que 15 % de la variabilité du taux d'urée

Annexe VIII : Détails et explications de la régression multiple (4)

Analyse d'un modèle avec R (données non alimentaires)

ANOVA

Explication du modèle 3

Estimate : estimation des coefficients de chaque variable

Std. Error : écart type

T value : valeur observée de la statistique de test

Pr(>|t|) : Probabilité critique

> summary(mod3)

Call:

```
lm(formula = Ureejour ~ Race + Moisstadelact + Laitjour + NECSternale +  
    TBjour, data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-323.35	-94.36	-21.02	84.75	752.75

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	206.5294	37.0718	5.571	2.93e-08	***
RaceSaanen	56.4097	6.8624	8.220	3.95e-16	***
Moisstadelact2	83.0265	12.9564	6.408	1.90e-10	***
Moisstadelact3	99.7075	13.7814	7.235	6.97e-13	***
Moisstadelact4	104.9683	13.7271	7.647	3.40e-14	***
Moisstadelact5	111.4738	18.2792	6.098	1.32e-09	***
Moisstadelact6	72.5290	15.7821	4.596	4.63e-06	***
Moisstadelact7	73.1398	14.9044	4.907	1.01e-06	***
Moisstadelact8	198.7231	22.2426	8.934	< 2e-16	***
Moisstadelact9	121.8893	14.2051	8.581	< 2e-16	***
Moisstadelact10	123.9799	17.9695	6.899	7.30e-12	***
Laitjour	-21.9036	3.8193	-5.735	1.15e-08	***
NECSternale	-13.5684	7.6540	-1.773	0.0764	.
TBjour	4.1033	0.5213	7.872	6.13e-15	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 133.9 on 1726 degrees of freedom
(5014 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1564, Adjusted R-squared: 0.1501

F-statistic: 24.62 on 13 and 1726 DF, p-value: < 2.2e-16

Atteint un max à 5 mois.

Mais au 8^{ème} mois, *Estimate* est plus élevé, le jeu de données est déséquilibré, il y a que 255 et 372 chèvres pour les 8^{ème} et 10^{ème} mois de lactation alors que dans les autres il y avait entre 650 et 1000 chèvres.

Intercept correspond à une chèvre Alpine dans son premier mois de lactation, elle possède une urée jour de 206,5 (moyenne urée jour des Alpines au premier mois de lactation).

Pour une même race (ici l'Alpine), 83 est ajouté à la valeur de l'urée (*Intercept*) pour avoir une estimation de l'urée des races Alpine à leur deuxième mois de lactation, pour le troisième mois, 99,7 est ajouté et ainsi de suite.

Pour avoir l'urée des Saanen, 56,4 est ajouté à la moyenne des Alpines.

Pour les variables *Laitjour*, *NECSternale* et *TB jour*, ce sont des variables qualitatives, la colonne *Estimate* correspond à un coefficient directeur.

Prenons le Lait jour: la variable est significative (***) et le coefficient est négatif = L'urée baisse de 21,9 dans la production augmente d'un litre.

Exemple : Ainsi pour avoir l'urée d'une chèvre Alpine au 2^{ème} mois de lactation : $206,5 + 83 - 21,9 * la$ production laitière journalière de la chèvre Alpine.

Pour une Saanen en 4 mois de lactation : $206,5 + 56,4 + 104,9 - 21,9 * la$ production laitière journalière de la chèvre Saanen.

Pour le TB jour : l'urée augmente de 4,1 quand le TB augmente de 1 g.kg⁻¹ de lait
De même, L'urée baisse de 13,5 quand la NEC Sternale augmente de 1 point

Annexe IX : Détails et explications de la nouvelle régression multiple

L'analyse précédente est reprise, mais dans le modèle n°2, à la place de choisir « Stade de lactation », « Mois de l'année » a été choisi et le modèle est relancé.

```
> mod2=lm(Ureejour~Race+Mois+Laitjour+Parite+Saisonnalite+NECLombaire+NECSternale+TBjour,data)
> anova(mod2)
```

Analysis of Variance Table

Response: Ureejour

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Race	1	749189	749189	80.3530	< 2.2e-16 ***
Mois	11	18925647	1720513	184.5308	< 2.2e-16 ***
Laitjour	1	105314	105314	11.2953	0.000794 ***
Parite	1	36390	36390	3.9029	0.048361 *
Saisonnalite	1	143491	143491	15.3898	9.090e-05 ***
NECLombaire	1	79229	79229	8.4976	0.003602 **
NECSternale	1	422950	422950	45.3628	2.225e-11 ***
TBjour	1	166025	166025	17.8068	2.573e-05 ***
Residuals	1721	16046118	9324		

Modèle 2

→ Ajustement du premier modèle en choisissant la variables « Mois de l'année »

Toutes ces variables sont significatives

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(mod2)
```

Call:

```
lm(formula = Ureejour ~ Race + Mois + Laitjour + Parite + Saisonnalite +
    NECLombaire + NECSternale + TBjour, data = data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-364.60	-54.88	-6.22	48.06	647.61

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	365.7120	26.6156	13.741	< 2e-16 ***
RaceSaanen	8.9916	6.3347	1.419	0.155957
MoisAvril	-78.8191	12.4317	-6.340	2.92e-10 ***
MoisDécembre	205.0807	13.1087	15.645	< 2e-16 ***
MoisFévrier	39.1183	15.3974	2.541	0.011154 *
MoisJanvier	4.8647	22.0297	0.221	0.825254
MoisJuillet	21.2669	16.6308	1.279	0.201151
MoisJuin	27.3232	12.7130	2.149	0.031756 *
MoisMai	-37.9605	10.8894	-3.486	0.000503 ***
MoisMars	-37.3523	12.0277	-3.106	0.001930 **
MoisNovembre	179.9583	13.9930	12.861	< 2e-16 ***
MoisOctobre	204.1235	12.2893	16.610	< 2e-16 ***
MoisSeptembre	164.1859	15.3952	10.665	< 2e-16 ***
Laitjour	-11.0626	2.7328	-4.048	5.39e-05 ***
ParitePrimi	-3.4739	5.4273	-0.640	0.522201
Saisonnalites	25.1843	6.6002	3.816	0.000141 ***
NECLombaire	17.7773	8.9687	1.982	0.047623 *
NECSternale	-50.1864	7.8189	-6.419	1.77e-10 ***
TBjour	1.6307	0.3864	4.220	2.57e-05 ***

signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 96.56 on 1721 degrees of freedom

(5014 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.5625 Adjusted R-squared: 0.5579

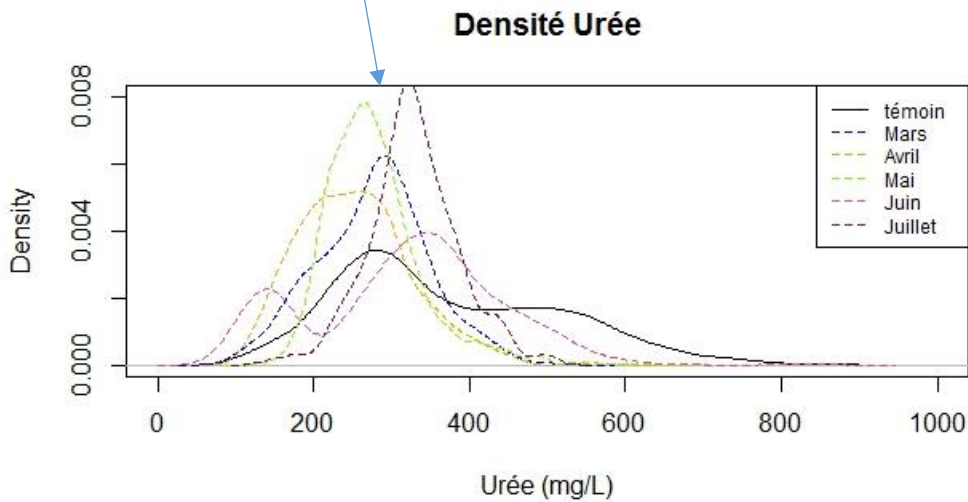
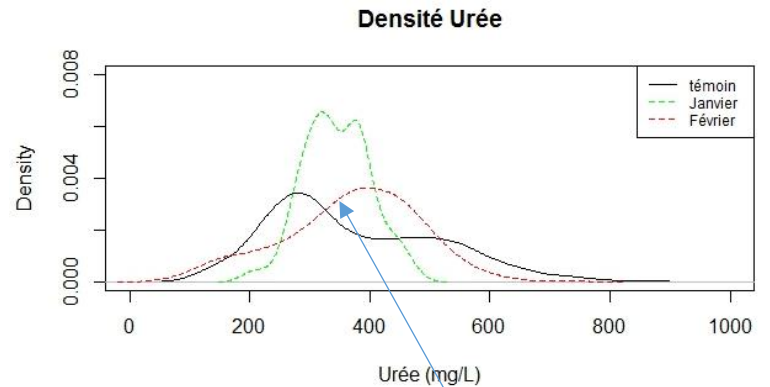
F-statistic: 122.9 on 18 and 1721 DF, p-value: < 2.2e-16

R² plus élevé que dans le modèle précédent : les variables *Race*, *Mois de l'année*, *Lait jour*, *saisonnalité*, *TB jour* et les *NEC* sont significatives dans ce modèle et permettent d'expliquer 56 % de la variabilité du taux d'urée

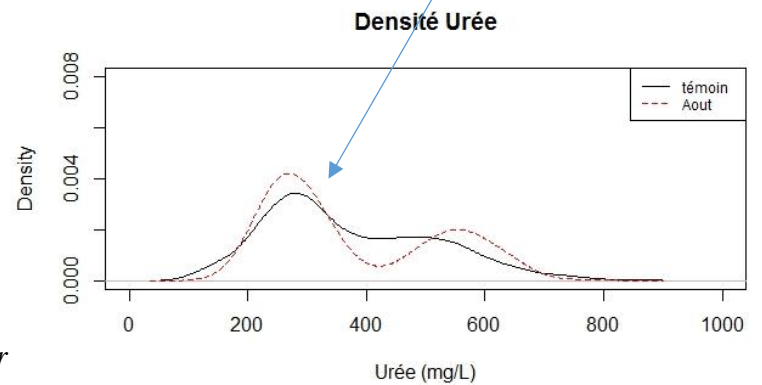
↳ Il s'agit d'une interaction entre variables, qui est dominé par les mois de l'année (0,56 contre 0,15 pour le R²)

Annexe X : Répartition de l'urée selon les mois de l'année

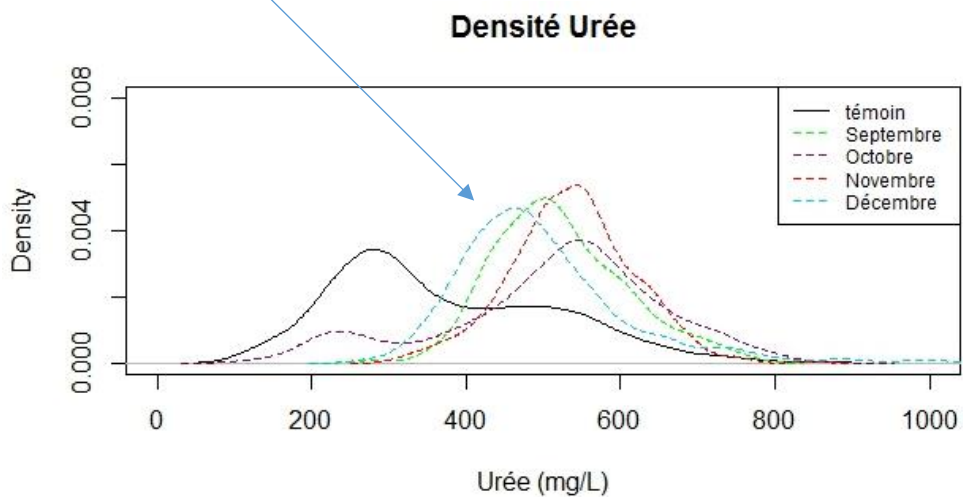
Répartition suivant la première « bosse » pour les mois allant de Mars à Juillet : Printemps et début été.



Répartition bimodale ou « entre les deux bosses » pour les mois de Janvier, Février et Août : il s'agit peut-être des mois de transition entre les deux périodes observées ?

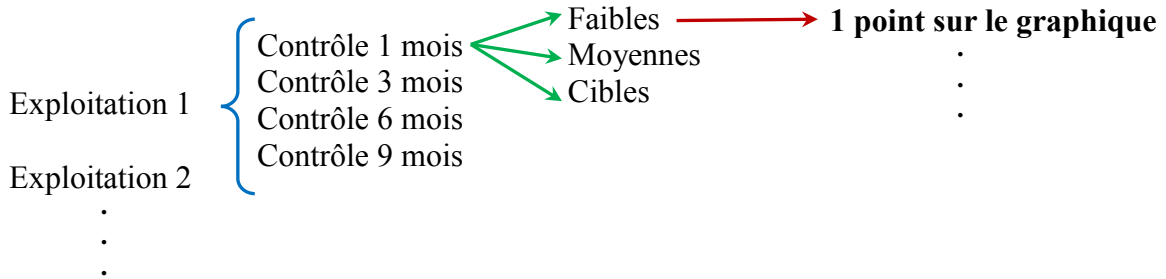


Répartition suivant la seconde « bosse » de la courbe générale pour les mois allant de Septembre à Décembre : Automne et début hiver

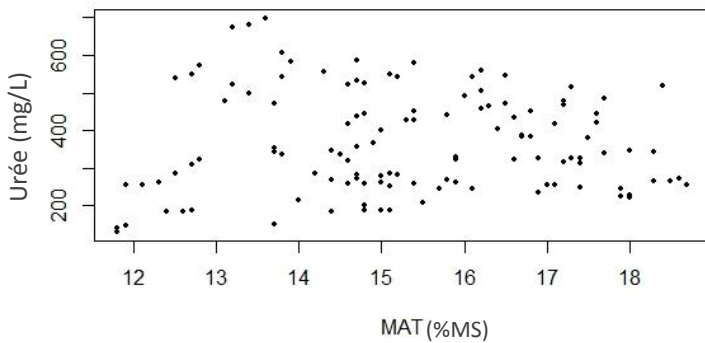


Annexe XI : Urée fonction des facteurs alimentaires (1)

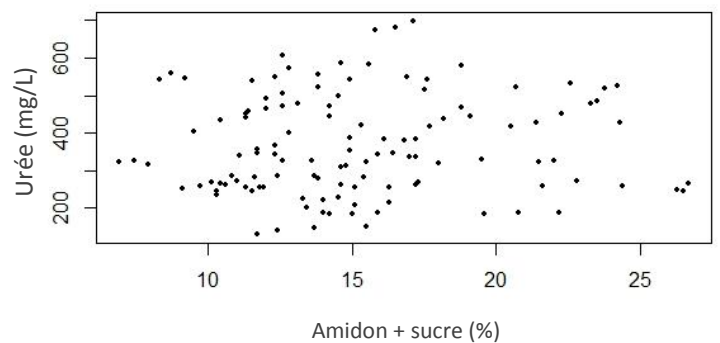
Les graphiques suivants ont pour but de croiser l'urée avec les différentes variables alimentaires pour observer des tendances. Chaque point représente une catégorie de production laitière (faible, moyenne ou cible, voir annexe II) pour un contrôle donnée au sein d'une exploitation. Les points sont donc des moyennes :



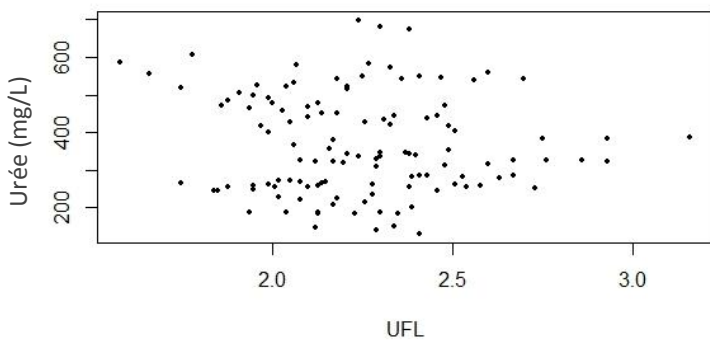
Représentation de l'urée en fonction de la MAT



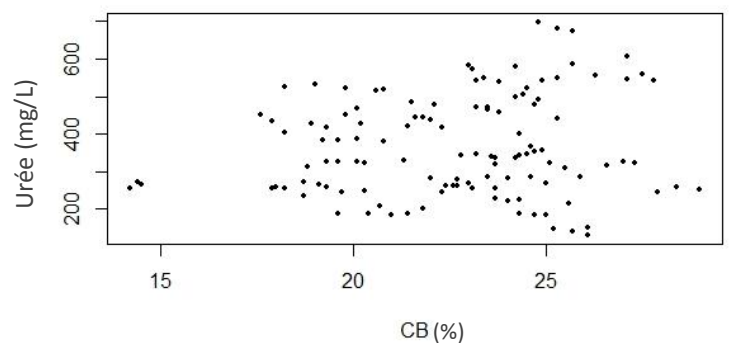
Représentation de l'urée en fonction de amidonsucre



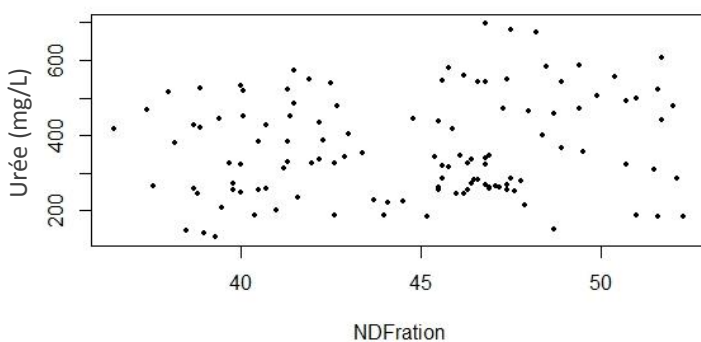
Représentation de l'urée en fonction des UFL



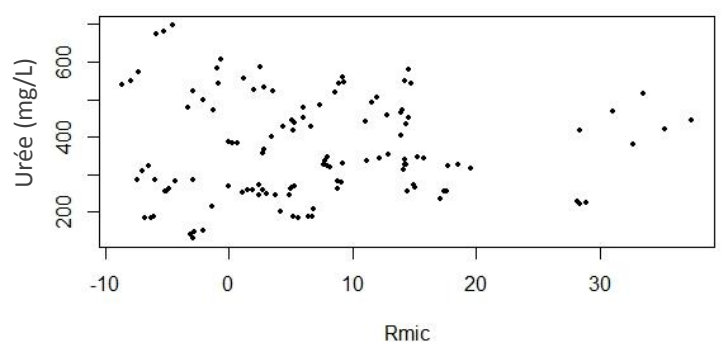
Représentation de l'urée en fonction de la CB



Représentation de l'urée en fonction des NDFration

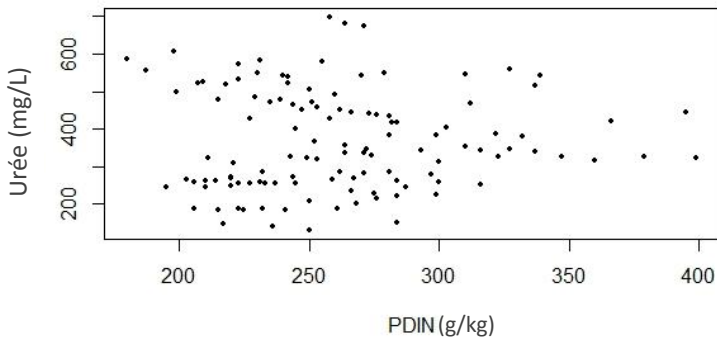


Représentation de l'urée en fonction du Rmic

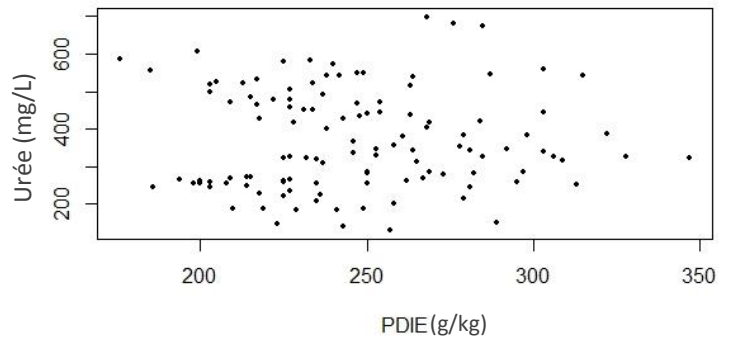


Annexe XI : Urée fonction des facteurs alimentaires (2)

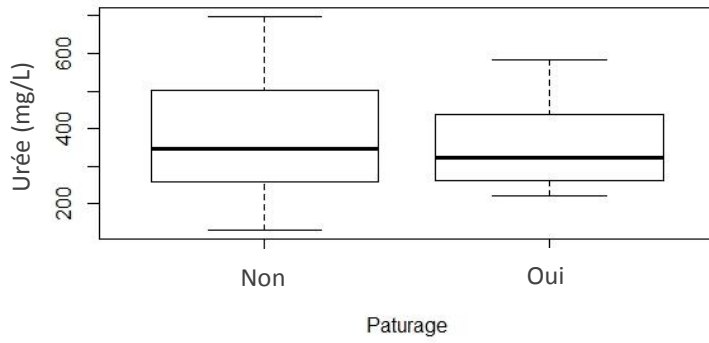
Représentation de l'urée en fonction des PDIN



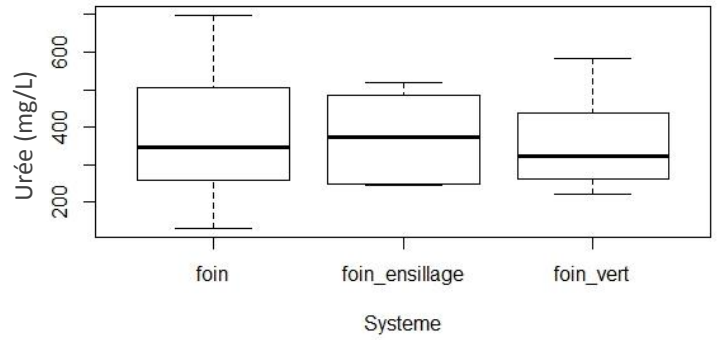
Représentation de l'urée en fonction des PDIE



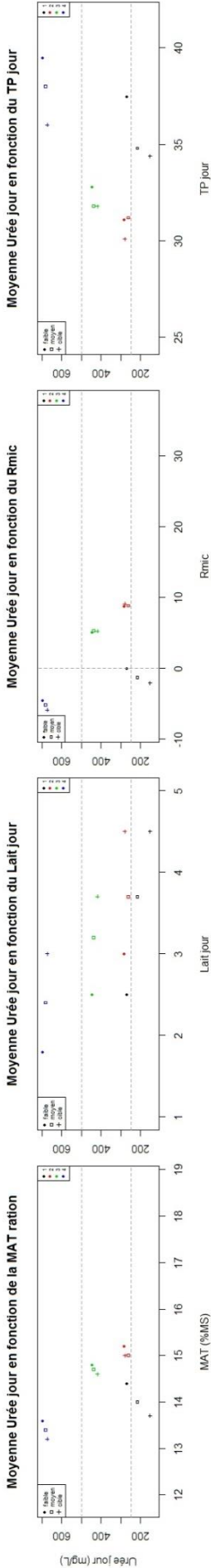
Représentation de l'urée en fonction du Pâturage



Représentation de l'urée en fonction du système



Fiche exploitation A : Système saisonné, ↑ urée, ↘ MAT



Ingrédients (KgMS)	MAT (%MS)	Cont. 1
Foin de prairie permanente demi-montagne, 1er cycle	8,3	← -1,673
Prairie naturelle (montaison) → pâturage	15	
Orge	11,6	0,147
Maïs	9,4	0,434
Tourteau soja 48	51,6	← -0,29
Luzerne désydraté 17-18	17,5	← -0,29
Seigle	10,3	

Ingrédients (KgMS)	MAT (%MS)	Cont. 2
Foin de prairie permanente demi-montagne, 1er cycle	8,3	0,544
Prairie naturelle (montaison) → pâturage	15	1,5
Orge	11,6	0,13
Maïs	9,4	0,399
Tourteau soja 48	51,6	0,176
Luzerne désydraté 17-18	17,5	×
Seigle	10,3	

Ingrédients (KgMS)	MAT (%MS)	Cont. 3
Foin de prairie permanente demi-montagne, 1er cycle	8,3	0,837
Prairie naturelle (montaison) → pâturage	15	1
Orge	11,6	0,165
Maïs	9,4	0,486
Tourteau soja 48	51,6	0,22
Luzerne désydraté 17-18	17,5	
Seigle	10,3	

Ingrédients (KgMS)	MAT (%MS)	Cont. 4
Foin de prairie permanente demi-montagne, 1er cycle	8,3	1,578
Prairie naturelle (montaison) → pâturage	15	×
Orge	11,6	×
Maïs	9,4	0,165
Tourteau soja 48	51,6	0,22
Luzerne désydraté 17-18	17,5	0,453
Seigle	10,3	0,48

Contrôle 1 mois (Février):

Observations : Différence au niveau du taux d'urée du lait entre les faibles productrices, les moyennes et les animaux cibles : les cibles ont un taux d'urée plus bas que les moyennes, elles-mêmes plus bas que les faibles (*Graphique 1*) :

Explication : les cibles ont une capacité d'ingestion plus élevée que les autres, elles vont donc manger plus de fourrages, mais la quantité en concentré ingéré est la même pour les moyennes et les faibles. Or ici, le fourrage possède un faible pourcentage de MAT (8,3%), contrairement aux concentrés. Le pourcentage de MAT dans la ration des cibles sera donc plus faible que dans celui des faibles productrices, ce qui pourrait expliquer la différence au niveau du taux d'urée entre les faibles, moyennes et cibles.

Conclusion : On peut penser qu'il s'agit d'une ration où il y a du gaspillage d'azote car les faibles sont plus élevées en urée que les cibles or, les cibles produisent plus de lait par définition et l'azote est censé être utilisé pour produire le lait

Contrôle 3 mois (Mai):

Observations : Baisse de l'apport de concentrés et mise au pâturage avec un apport de MAT par les fourrages plus important. On remarque également une homogénéisation au niveau du taux d'urée pour les trois catégories de chèvres (*Graphique 1*).

Explication : L'augmentation du pourcentage de MAT dans la ration totale est sûrement due à la pâture. La mise au pâturage va faire que les moyennes productrices et les faibles vont manger plus de fourrages qu'au contrôle 1 mois car celui-ci est meilleur d'où le regroupement des points.

Conclusion : il y a une différence entre l'assimilation d'azote par les concentrés et par les fourrages. On est ici sur une ration correcte

Contrôle 6 mois (Juin):

Observations : Toujours au pâturage, augmentation de l'urée.

Explication : On est dans un système saisonné, ce contrôle à lieu en juin, le stade physiologique combiné au climat font que les taux baissent. La quantité de lait produite baisse également ce qui explique que l'on soit plus haut en TP qu'au contrôle 3 mois (*dilution des taux*). Le contrôle 6 mois monte en urée peut-être parce que les chèvres font moins de lait, et la ration est forte en MAT car ils donnent plus de concentrés (gaspillage azoté) ; on a une inversion des taux (déséquilibre de la ration).

Conclusion : Le pâturage explique le plus gros gaspillage d'urée (parallèlement à ça on a aussi une augmentation du tourteau). Ce qui est surprenant c'est que la MAT baisse mais que l'urée augmente.


Contrôle 9 mois (Octobre):

Observations : Forte augmentation des taux d'urée, baisse de la MAT de la ration, arrêt du pâturage, arrêt de la distribution d'orge, apport de luzerne désydratée, nouveau concentré distribué : le seigle.

Explication : On est en fin de lactation donc la production laitière baisse, l'éleveur diminue l'apport de concentrés, et ceci associé à l'arrêt du pâturage, explique la baisse de MAT. Ici le Rmic est négatif, on n'est plus dans un système optimal. La luzerne désydratée donne du PDIE, mais l'apport de PDIN n'est pas suffisant pour équilibrer la ration, la chèvre ne valorise pas bien l'azote qu'elle reçoit. Le seigle ne joue pas le même rôle que le maïs (équilibre différent pour les PDI). Le gaspillage azoté est lié au Rmic négatif, il y a un problème de rationnement ici, on est supérieur aux besoins de la chèvre et on n'a que des aliments à taux inversés (plus de PDIE que de PDIN).

Conclusion : Les chèvres ne font pas de lait, on est encore dans une ration où il y a de gros apports, il y a donc un gaspillage d'azote. L'apport d'azote n'est pas valorisé car le taux d'urée est élevé, celui-ci est mal digérée dans cette ration : l'assimilation n'est pas bonne.

Annexe XII : Exemple d'une fiche référence

	Diplôme : Ingénieur Agronome Spécialité : Production Animale Spécialisation / option : Ingénierie zootechnique Enseignant référent : Catherine Disenhaus
Auteur : Manon GABARRET Date de naissance : 30/07/1992	Organisme d'accueil : Drôme Conseil Élevage Adresse : 95 Avenue Georges Brassens, 26500 Bourg-lès-Valence
Nb pages : 20 Annexe(s) : 12	
Année de soutenance : 2016	Maître de stage : Solène DUTOT
Titre français : Étude des relations entre les conduites alimentaires et les performances zootechniques de la chèvre laitière avec le taux d'urée du lait dans le secteur Rhône-Alpin. Titre anglais: Study of relations between feeding management and zootechnical performance of dairy goats with milk urea levels in the Rhone-Alpine area.	
Résumé (1600 caractères maximum) : Le taux d'urée du lait est un indicateur qui suscite un intérêt grandissant dans le secteur caprin par son potentiel d'évaluation de la stratégie alimentaire. Utilisé depuis quelques années en vaches laitières, l'urée est un outil utile pour évaluer l'équilibre entre les apports d'énergie et d'azote, équilibre indispensable à une alimentation efficace et à une production laitière optimale. L'étude est réalisée à partir de données issues de dix-huit exploitations commerciales de Rhône-Alpes. L'objectif est de rechercher les facteurs de conduite alimentaires (UFL, PDI, MAT, Rmic, etc.) et non alimentaires (Race, Saisonnalité, Stade de lactation, Lait, TB, TP, NEC, etc.) susceptibles d'affecter les taux d'urée du lait, afin de pouvoir l'utiliser comme aide au diagnostic sur la conduite alimentaire des troupeaux caprins. Seule une relation a pu être mise en évidence : celle entre l'urée et les « mois de l'année » permettant d'expliquer 50 % des variations de l'urée. Cette corrélation reste difficilement explicable au vu de l'absence de lien entre l'urée et les facteurs alimentaires. En effet, l'alimentation des chèvres est souvent trop riche en azote, ce qui rend l'effet des variations des bilans alimentaires trop faible et donc non impactant. L'étude n'a pas permis de proposer des références uniques et pratiques pour une gestion efficace de l'alimentation utilisable dans le conseil technique. L'indicateur urée reste un outil supplémentaire à utiliser dans l'analyse de la conduite technico-économique de l'alimentation du troupeau caprin, en lien avec les autres facteurs habituels.	
Abstract (1600 caractères maximum) : The rate of urea of the milk is an indicator which arouses an interest growing in the caprine sector by its potential of evaluation of the food strategy. Used since few last years in herd management of dairy cows, the urea is a useful tool to estimate the balance between the contribution of energy and nitrogen, this balance is essential for an efficient feeding and an optimal dairy production. The study is realized from data stemming from eighteen business concerns of Rhône-Alpes. The purpose is to search for the dietary factors (DMI, PDI, Crude Protein, PDI, etc.) and non-food factors (Breed, Season, Stage of lactation, milk yield, BCS, etc.) susceptible to affect the rate of urea milk, to be able to use him as help to the diagnosis on food conduct. Only one link between could be found: between milk urea and the parameter "month of the year" allowing to explain 50% of the variations of the urea. This correlation is difficult to explain in view of the absence of the link between the urea and the dietary factors. Indeed, goat feeding is often too rich in nitrogen, what returns the too low food effect of the variations of balance sheets and thus not impacting. The study did not allow to propose unique and practical references for an effective management of the usable food in the technical advice. The urea indicator remains an additional tool to use in the analysis of technical and economical food management of the goat herd, in connection with the other usual factors.	
Mots-clés : Chèvres laitière – urée du lait – alimentation – apports énergétiques et azotés – ration Key Words: Dairy goats – Milk urea concentration – feeding – energy and nitrogen intakes – ration.	