UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Evaluation de l’efficacité d’utilisation de l’azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l’Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

Nkunzimana, Pascal; Sous la direction de : Prof. Dr. Ir. Munyaneza, Napoléon

2024
UB-EANSI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1731

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

EAST AFRICAN NUTRITIONAL SCIENCES INSTITUTE (EANSI)

DEPARTEMENT : SCIENCES DES ALIMENTS ET NUTRITION

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

Par :

NKUNZIMANA Pascal

Sous la direction de :

Prof. Dr. Ir. MUNYANEZA Napoléon

Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences des Aliments et Nutrition

Spécialité : Sécurité Alimentaire et Changement Climatique

Bujumbura, Septembre 2024

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

MEMBRES DU JURY

Président : Prof. Dr. Ir. NAHIMANA Grégoire

Secrétaire : Dr. Ir. NDAYIKENGURUKIYE Dévote

Membre : Prof. Dr. Ir. MUNYANEZA Napoléon

DEDICACE

J'ai le grand plaisir de dédier ce travail :

A Dieu tout Puissant ;

A la mémoire de mon regretté père qu'il repose en paix

A ma chère mère

A mes frères et sœurs qui m'ont donné le courage et qui m'ont soutenu

A mes ami (e)s

A la famille HABONIMANA Antoine

A toute ma famille et mes proches.

A tous ceux qui me sont chers ;

A toute la promotion Sécurité alimentaire et changement climatique 2022-2023

Ce mémoire vous est dédié.

NKUNZIMANA Pascal

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit de plusieurs collaborations. Premièrement, mes remerciements s'adressent à Dieu Tout Puissant qui m'a gardé tout au long de ce parcours d'études.

Une occasion m'est offerte également pour exprimer nos sincères gratitudes à toute personne morale ou physique qui a contribué au présent couronnement de mes études. Les remerciements s'adressent particulièrement :

- ✓ A Monsieur Prof. Dr. Ir MUNYANEZA Napoléon, Directeur et Promoteur de ce mémoire pour son soutien inlassable, ses critiques positives, ses conseils, ses orientations, sa disponibilité, sa simplicité et ses encouragements tout au long de mon travail.
- ✓ A l'endroit du personnel de l'Unité de Gestion du Projet PA-EANSI et à l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'EANSI pour leur présence et leur soutien.
- ✓ A la Direction de la société LIFE WAY COMPANY en particulier Monsieur NDANGAMIRA Prosper, le Directeur Général de Life Way Company pour avoir accepté de mener l'étude au sein de l'entreprise dont il est responsable.
- ✓ A Monsieur Dr. Vétérinaire NDORICIMPA Anicet, je lui suis très reconnaissant pour son accompagnement et ses conseils.
- ✓ A toute l'équipe des vétérinaires de Life Way Company qui n'ont jamais cessé de m'aider à l'aboutissement de ce travail.
- ✓ Aux parents pour leur sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études depuis l'école primaire jusqu'aujourd'hui.
- ✓ Aux camarades étudiants de l'EANSI, du cycle de mastère particulièrement ceux de la Science des Aliments et Nutrition-option Sécurité alimentaire et changement climatique

Merci à vous.

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

RESUME

L'efficacité d'utilisation de l'azote (N) est l'un des principaux moteurs des systèmes de production agricole durables sur le plan économique d'une exploitation d'élevage et son environnement. Le but de la présente étude a été d'évaluer le niveau de l'efficacité d'utilisation de l'azote et de déterminer la quantité d'azote excrété avec les urines dans une ferme laitière commerciale « Green farm » située dans la localité de Buringa. Trente-six (36) vaches laitières en lactation ont été choisies et groupées en 4 lots suivant le stade de lactation. Les rations utilisées étaient généralement constituées du *Pennisetum purpureum* mélangé avec d'herbes naturelles récoltées dans les rizières. Les aliments composés concentrés et la drêche de la brasserie étaient distribués pendant la traite à raison de 0,5kg par litre de lait produit. Les données ont été collectées durant une période de 4 mois et les analyses de laboratoire ont portées sur les teneurs en PB des aliments, en MG et en protéines totales du lait. La quantité d'N ingéré (Ni), l'efficacité d'utilisation de l'azote (EUN) et l'excrétion d'azote dans l'urine (NUE) ont été exprimés à partir des résultats de laboratoire. Les résultats d'analyse bromatologique des aliments ont montré que le fourrage avait une teneur de 22.8% PB/kg MS, 10,3% PB / kg MS d'aliments composés concentrés et 50,3 % PB/ kg MS de la drêche. L'apport moyen par vache laitière en N était de 599,62 ± 70,76 g/j. La production laitière par vache a été en moyenne de 13,15 ± 3,11 kg/j correspondant à l'EUN de 10,22 ± 2,3 % et l'NUE de 294,61± 21,23 g/j. Les vaches laitières en début du cycle de lactation ont manifesté des niveaux d'Ni bas (µ= 559,13g/j) ; EUN élevé (µ= 11,39%) et plus d'NUE (µ= 208,23g/j) tandis que celles en fin du cycle de lactation ont manifesté des niveaux élevés de Ni (µ= 631,64g/j) et EUN bas (µ= 9,58%). Celles se trouvant au pic du cycle de lactation ont manifesté des niveaux bas d'NUE (µ= 193,64g/j). L'étude a conclu que les pratiques d'alimentation des vaches laitières au Green farm ne permettent pas un meilleur rendement laitier, diminuent l'efficacité d'utilisation de l'azote et augmentent l'excrétion de l'azote dans l'environnement par les urines.

Mots clés : Efficacité d'utilisation de l'azote, excrétion urinaire d'azote, vaches laitières, stabulation permanente, Green farm

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

ABSTRACT

Nitrogen (N) use efficiency is one of the key drivers of economically sustainable agricultural production systems of a livestock farm and its environment. The aim of this study was to assess the level of nitrogen use efficiency and determine the amount of nitrogen excreted in urine in a commercial dairy farm **«**Green farm**»** located in Buringa locality. Thirty-six (36) lactating dairy cows were selected and grouped into 4 batches according to the lactation stage. The rations used were generally *Pennisetum purpureum* mixed with natural grasses harvested from rice fields. Concentrated compound feed and brewer's spent grain were distributed during milking at a rate of 0.5kg per liter of milk produced. Data were collected over a period of 4 months and laboratory analyses focused on feed CP, fats and total milk protein contents. The amount of N intake (Ni), nitrogen use efficiency (NUE) and urinary nitrogen excretion (NUE) were expressed from the laboratory results. The results of feed bromatological analysis showed that the forage had a content of 22.8% CP/kg DM, 10.3% CP/kg DM of concentrated compound feed and 50.3% CP/kg DM of spent grain. The average N intake per dairy cow was 599.62 ± 70.76 g/d. Milk production per cow was on average 13.15 ± 3.11 kg/d corresponding to the NUE of 10.22 ± 2.3% and the NUE of 294.61 ± 21.23 g/d. Dairy cows in early lactation cycle showed low Ni levels (µ= 559.13g/d); high EUN (µ= 11.39%) and less NUE (µ= 282.46g/d) while those in late lactation cycle showed high Ni levels (µ= 631.64g/d); low EUN (µ= 9.58%) and more NUE (µ= 304.21g/d). The study concluded that feeding practices of dairy cows in Green farm do not allow better milk yield, decrease nitrogen use efficiency and increase nitrogen excretion into the environment through urine.

Keywords: Nitrogen use efficiency, Urinary nitrogen excretion, Dairy cows, Permanent housing, Green farm

TABLE DES MATIERES

MEMBRES DU JURY....i

DEDICACE....ii

REMERCIEMENTS....iii

RESUME....iv

ABSTRACT....v

TABLE DES MATIERES....vi

LISTE DES TABLEAUX....ix

LISTE DES FIGURES....x

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS....xi

AVANT –PROPOS....xiii

INTRODUCTION GENERALE....1

Ière partie : REVUE DE LA LITTERATURE....4

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE METABOLISME DES PROTEINES....5

I.1. CONCEPT DE L'EFFICACITE D'UTILISATION DE L'AZOTE....5

I.1.1. Généralités sur l'efficacité d'utilisation de l'azote....5

I.1.2. Facteurs influençant la teneur en protéines du lait et en azote uréique urinaire....7

I.1.2.1. Facteurs liés à l'animal....7

I.1.2.2. Facteurs liés à l'aliment....9

I.1.3. Equilibre des rations pour améliorer l'efficacité azotée des vaches laitières....10

I.1.3.1. Principes de base pour la formulation d'une ration équilibrée....11

I.1.3.2. Notion d'apports et besoins alimentaires des vaches laitières....13

IIème Partie : PARTIE EXPERMENTALE....16

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES....17

I.1. Présentation de la zone d'étude....17

I.2. Description de la ferme 17

I.3. Approche pratique 18

I.3.1. Calcul de la taille de l'échantillon 19

I.3.2 Echantillonnage au niveau de la ferme 19

I.3.2.1. Choix des animaux 19

I.3.2.2. Estimation du poids des vaches 20

I.3.2.3. Mesure et échantillonnage d'aliments 20

I.3.2.4. Mesure de la production et échantillonnage du lait 21

I.3.3. Analyses chimiques des échantillons 22

I.3.3.1. Analyse de la teneur en matière sèche du fourrage, de la drêche et des aliments concentrés 22

I.3.3.2. Analyse de la teneur en azote du fourrage, de la drêche de brasserie et des concentrés 23

I.3.3.3. Analyse de la teneur en protéines du lait 23

I.3.3.4. Analyse de la matière grasse du lait 24

I.3.3.5. Détermination de la teneur en azote de l'urine 24

I.3.4. Détermination de l'efficacité d'utilisation de l'azote 24

I.3.5. Analyse statistique des données 24

CHAPITRE II : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 26

II.1. Les résultats d'analyse chimique des rations 26

II.2. Résultats d'analyse descriptive 28

II.2.1. Résultats descriptifs des variables 28

II.2.2. Moyennes et écart-types des variables en fonction du stade de lactation 32

II.2.3. Etude de la corrélation des variables. 35

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 40

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 42

ANNEXES 53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Quelques repères pour maintenir l'efficacité d'utilisation des protéines en alimentation d'une vache laitière 12

Tableau 2. Teneurs recommandées des rations des vaches laitières en énergie, en azote et en fibres selon le cycle de production 14

Tableau 3. Apports journaliers recommandés globaux (entretien + production) des éléments minéraux majeurs basés sur le besoin énergétique..... 15

Tableau 4. La formule de la composition des aliments concentrés pour les vaches laitières à la Green farm..... 21

Tableau 5. La teneur en matière sèche et en azote des différents types d'aliments 26

Tableau 6. Résultats descriptifs des variables..... 28

Tableau 7 Moyennes et écart-types des variables en fonction du stade de lactation 32

Tableau 8 Matrice de corrélation des variables..... 36

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Utilisation de matières azotées de la ration par une vache laitière en lactation 6

Figure 2. Disposition des vaches laitières aux mangeoires 17

Figure 3. La traite manuelle 18

Figure 4. Mesure du tour de poitrine 20

Figure 5. Fourrage semi broyé prêt à être distribué aux vaches laitières 20

Figure 6. Comparaison des moyennes par stade de lactation 33

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

% : Pourcentage

± : Plus ou moins

AA : Acide aminé

AOAC: Association of Official Analytical Chemical

ATP : Adénosine triphosphate

Ca : Calcium

CP : Crude protein

dl : Décilitre

DM : Dry matter

ENU : Excrétion d'azote dans l'urine

EUN : Efficacité d'utilisation de l'azote

g : Gramme

H_2O : Eau

ISABU : Institut des sciences agronomiques du Burundi

ISO : International Organization for Standardization

j : Jour

Kcal : Kilocalorie

Kg : Kilogramme

LASPA : Laboratoires d'Analyses des Sols et Produits Agroalimentaires

MG : Matières grasses

mg : Milligramme

ml : Millilitre

MS : Matière sèche

MSI = Matière sèche ingérée

N : Azote

Na : Sodium

NH_3 : Ammoniac

NH_4+ : Ammonium

Ni : Azote ingéré

NUE : Azote urinaire excrété

NUL : Azote uréique du lait

P : Phosphore

PB : Protéine brute

PDI : Protéines digestibles dans l'intestin

PDR : Protéines dégradables dans le rumen

PL : Production laitière

PM : Protéines métaboliques

PNDR : Protéines non dégradables dans le rumen

$PV^{0.75}$: Poids métabolique

SPSS : Statistical Package of the Social Sciences

STATA : Software for Statistics and Data Science

TMS : Teneur en matière sèche

TP : Taux de protéine

μ : Moyenne dans la population

UFL : Unité fourragère pour lait

AVANT –PROPOS

Ce mémoire intitulé : **Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo « Cas de la ferme Green farm »** a été réalisé dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de Master en Nutrition et Sciences des Aliments, option de Sécurité Alimentaire et Changement Climatique. L'alimentation azotée des vaches laitières constitue un défi majeur. Parmi les polluants de l'industrie laitière, l'excrétion d'azote est une préoccupation majeure en raison de son impact sur la qualité de l'air et de l'eau, le réchauffement climatique, la biodiversité de l'écosystème et la santé humaine. En plus de son impact environnemental, la protéine (la source d'azote) est un nutriment alimentaire coûteux, représentant environ 42% du coût d'alimentation de vache. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote améliorerait la production laitière, réduirait l'impact environnemental et le gaspillage des protéines en alimentation animale.

C'est ainsi que notre objectif global est de déterminer le niveau de l'efficacité d'utilisation de l'azote et la quantité d'azote urinaire excrété dans l'environnement par jour par les vaches laitières à la Green farm.

Au cours de cette étude, des difficultés n'ont pas manqué. Premièrement, le manque d'un laboratoire dans les institutions locales capable de faire l'analyse de l'azote uréique du lait, le meilleur prédicteur de l'azote urinaire. Ce manque nous a amené à faire le dosage de l'azote total dans les urines qui, malgré les souffrances subies lors du recueil des urines émises par les vaches très tôt le matin, les résultats de ces analyses se sont avérés biaisés suite à l'instabilité de l'azote urinaire et aux techniques de dosage de l'ISABU. On a opté à une équation de prédiction de l'azote urinaire. Deuxièmement, les moyens financiers nous ont fait défaut, sinon nous aurions fait les analyses à l'étranger pour avoir des résultats plus fiables. Enfin, le problème du carburant nous a coûté très cher pour le déplacement des échantillons de la ferme au laboratoire vu leurs nombres élevés.

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

INTRODUCTION GENERALE

A partir des années 1950, on observe une croissance de la population mondiale de 20 à 40 % estimée à environ 9,8 milliards d'individu en 2050 (Nations Unies, 2015). Plus de la moitié de cette croissance devrait avoir lieu en Afrique (Nations Unies, 2015). Les pays africains montrent une accélération de la transition alimentaire qui induit une augmentation de la consommation des produits d'origine animale, notamment les produits laitiers (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Ce changement de régime alimentaire inciterait l'intensification des systèmes laitiers et accentuerait la pression sur les ressources disponibles notamment les terres arables et l'eau (Oenema et al., 2014).

L'intensification des vaches laitières vise l'augmentation de la production du lait et du fumier (Garnett & Godfray, 2012 ; Stott & Gourley, 2016). Malheureusement, les exploitations intensives de production laitière se retrouvent fréquemment confrontées à une suralimentation azotée (Pacheco et al., 2012).

En effet, les besoins protéiques des vaches laitières sont élevés et les éleveurs sont obligés de distribuer des rations dont le taux de protéines brutes est supérieur à 18% dans le souci d'augmenter la production du lait (Calsamiglia et al., 2010; Pacheco et al., 2012).

Or, l'efficacité de la conversion de l'azote en protéines du lait par les vaches laitières est faible. Elle varie entre 15 et 40% (Arriaga et al., 2009; Ryan et al., 2011). Les excédents d'azote (70 - 80%), sont éliminés par les déjections dans l'environnement (Hutson et al., 2013; Kohn & Dinneen, 2018; Spek, 2013; Stott & Gourley, 2016).

Dans une ferme laitière, l'efficacité d'utilisation de la protéine alimentaire est l'aptitude d'une vache laitière à transformer les composés azotés ingérés en protéines du lait et se calcule par le rapport entre la quantité d'azote excrété dans le lait et la quantité d'azote ingéré (Munyaneza, 2019).

En élevage des ruminants, l'alimentation représente plus de la moitié du coût de production (de lait ou de viande) (Makkar & Beever, 2012). Ainsi, l'intérêt d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote est de réduire ces coûts alimentaires tout en garantissant la rentabilité de la production de lait ou diminuer le niveau d'ingestion des aliments de meilleure qualité (Carjot, 2013)**.**

Cela permettrait aussi de diminuer les pertes de ce nutriment dans l'environnement tout en maintenant ou en augmentant la rentabilité de l'exploitation (Wang et al., 2000).

Plusieurs études ont prouvé qu'il existe des relations très fortes entre le taux des protéines brutes des rations ingérées, l'efficacité d'utilisation des rations des vaches laitières et l'importance de l'excrétion d'azote urinaire dans l'environnement (Kohn et al., 2002; Nousiainen et al., 2004).
En conséquence, ces pertes d'azote avec surtout les urines conduisent à divers impacts environnementaux dont l'eutrophisation, l'acidification des milieux, la perte de la biodiversité, des problèmes de santé publique, le changement climatique ainsi que le lessivage des nitrates (Godinot et al., 2022). Pour maîtriser ces pertes, les apports azotés alimentaires doivent être réduits dans les rations sans toutefois trop pénaliser la production laitière (Cantalapiedra-hijar et al., 2012) .

La ferme laitière « Green farm » est une exploitation de production de lait, pratiquant des techniques d'élevage intensif de bovins laitiers. Les vaches laitières de cette exploitation sont essentiellement nourries avec le fourrage complété par les aliments concentrés sous forme de rations totales mélangées (RTM).
Les aliments concentrés sont constitués d'un mélange riche en énergie comme la farine de maïs (représentant 30%), le son de blé (16%) et le son de riz (15%) ainsi que le tourteau de coton (10%) et du tournesol (12%) comme une source de protéines. La drêche de brasserie représente 17% de MS d'aliment concentré. Les compléments de production du lait sont distribués en raison de 0,5kg de concentré par litre de lait produit. Cependant, les informations portant sur la capacité d'utilisation des rations distribuées aux vaches laitières de la « Green farm » ne sont pas connues.

Ainsi, notre travail de recherche se propose d'évaluer l'efficacité d'utilisation de la protéine alimentaire des vaches laitières et mener un diagnostic en termes des pertes azotées au niveau de la ferme « Green farm » en vue d'informer les producteurs intensifs de lait à mieux utiliser les protéines alimentaires et à assurer la protection de leur environnement naturel.

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

Les questions de recherche sont :

- Quel est le niveau d'efficacité d'utilisation de l'azote chez les vaches laitières à la « Green farm » ?
- Les modes d'alimentation des vaches laitières pratiqués à la « Green farm » ne contribuent-elles pas à augmenter le risque de la pollution de l'environnement par les pertes azotées ?

Les hypothèses de ce travail sont :

- Le niveau de l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les vaches laitières à la « Green farm » serait très bas,
- Les modes d'alimentation des vaches laitières pratiqués à la « Green farm » contribueraient à augmenter le risque de la pollution de l'environnement par des pertes azotées urinaires.

Les objectifs de ce travail sont :

L'objectif général de la recherche est de contribuer à l'amélioration de la production laitière des vaches laitières dans les fermes laitières intensives et à la préservation de l'environnement.

Les objectifs spécifiques sont :

- Evaluer le niveau de production de lait (quantité et qualité) des vaches laitières en élevage intensif
- Evaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote (N lait/N ingéré) des vaches laitières en lactation
- Prédire le taux d'azote urinaire excrété quotidiennement dans l'environnement par les vaches laitières en lactation.

Cette étude est subdivisée en deux parties dont la revue bibliographique où on a abordé les généralités sur l'efficacité d'utilisation de l'azote dont les facteurs influençant l'efficacité d'utilisation de l'azote, les principes de formulation d'une ration équilibrée et la notion d'apports et besoins alimentaires des vaches laitières. Une autre partie concerne la phase expérimentale qui comporte les matériels et méthodes utilisés, une présentation et une discussion des résultats de l'expérimentation.

Ière partie : REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LE METABOLISME DES PROTEINES

I.1. CONCEPT DE L'EFFICACITE D'UTILISATION DE L'AZOTE

I.1.1. Généralités sur l'efficacité d'utilisation de l'azote

L'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières est une variable clé des systèmes d'élevage laitiers (Cutullic et al., 2013). Dans la pratique de l'alimentation animale, l'EUN pour la production de lait est donnée par le rapport entre l'azote contenu dans le lait et l'azote ingéré quotidiennement (N lait/N ingéré) (Calsamiglia et al., 2010).

Cependant, les systèmes de production des ruminants en général et des vaches laitières en particulier sont moins efficaces en matière de conversion de la protéine alimentaire en protéines du lait par rapport aux non-ruminants (Makkar & Beever, 2012). Les ruminants ont une efficacité moyenne globale d'utilisation de l'azote d'environ 25 % avec une large gamme de variations (15 % à 40 %) (Calsamiglia et al., 2010). Dans les fermes laitières commerciales, l'EUN varie de 20 à 30% avec des valeurs maximales pouvant atteindre 40 à 45% (Chase, 2011).

Dans ces conditions, la fraction d'azote non utilisé pour la production du lait représentant 60 à 85% est excrété dans les matières fécales et l'urine (Huhtanen & Hristov, 2009). Hutjens et Chase (2007) ont découvert dans leur expérience que dans la portion d'N rejeté dans l'environnement, la moitié se trouve dans les matières fécales et l'autre moitié dans l'urine. De plus, Horacio et al. (2017) ont montré qu'une vache laitière excrète quotidiennement plus d'N dans l'urine (38% de l'N ingéré) que d'azote dans le lait (28% de l'N ingéré). Cela conteste les pratiques alimentaires visant à augmenter la densité protéique des rations dans l'espoir d'accroitre le rendement en lait puisqu'une vache laitière consomme plus de protéines qu'elle n'en produise dans le lait (Munyaneza, 2019).

De plus, une suralimentation azotée par augmentation supplémentaire de la teneur en protéines brutes de la ration n'améliore pas le taux protéique du lait mais au contraire augmente l'azote total excrété principalement par la voie urinaire tout en diminuant l'efficacité de l'azote (Colmenero & Broderick, 2006).

L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'N optimise la production laitière avec une diminution de la quantité d'N ingéré (Hutjens, 2005).

Une stratégie alimentaire visant à augmenter l'efficacité azotée serait donc de minimiser les quantités d'N gaspillé.

Une étude a montré qu'une réduction de 1% des PB de la ration peut induire une réduction de 15% l'azote uréique rejeté dans l'environnement (Wattiaux & Ranathunga, 2016).

Varga (2007) dans son étude a observé une amélioration significative de l'efficacité azotée après avoir réduit la teneur des PB d'une ration de 18 à 16% MS. Cependant, des valeurs très élevées de l'EUN (>35%) peuvent signifier une carence en protéines d'une ration, ce qui peut diminuer la production de lait (Horacio et al., 2017). La figure 1 montre comment les matières azotées provenant de la ration ingérée par une vache laitière en lactation sont réparties dans le lait, les fèces et dans l'urine.

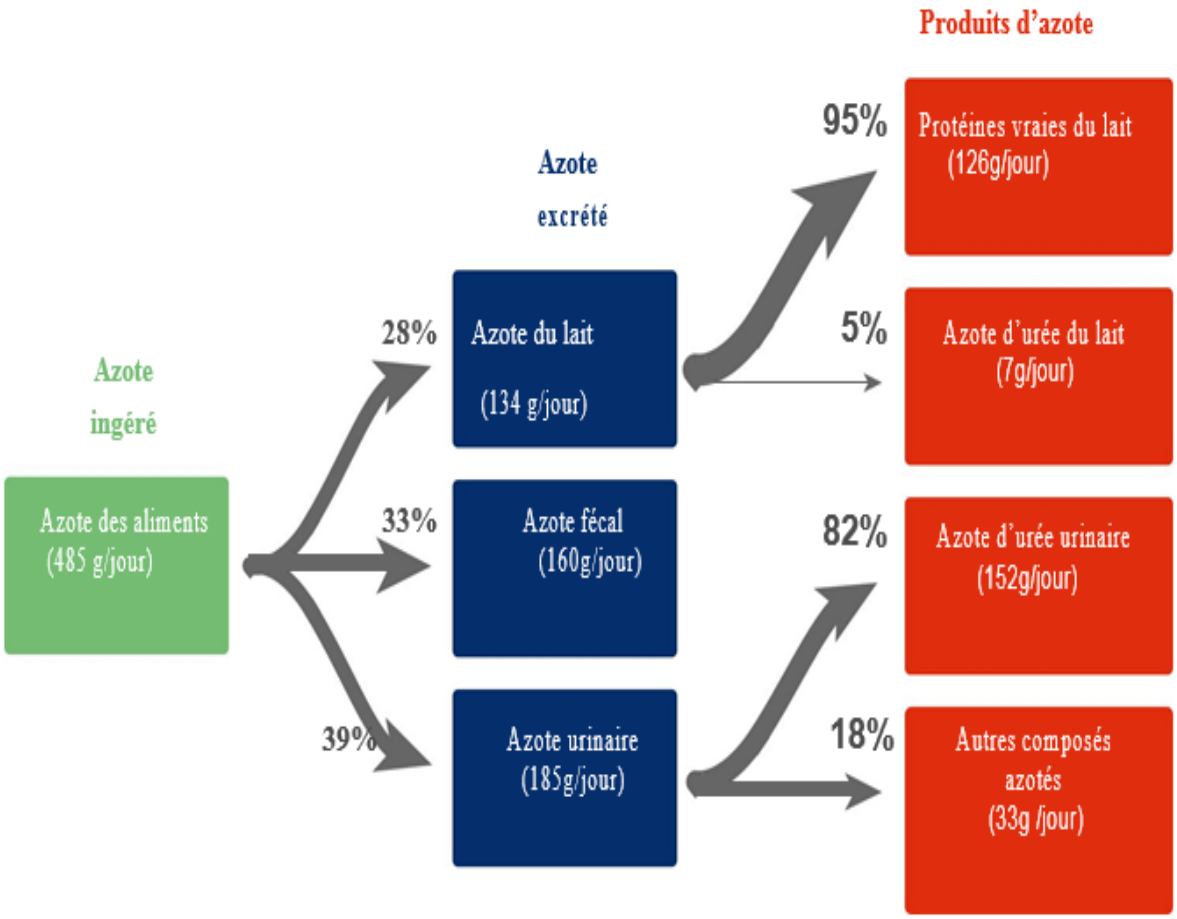


Figure 1 Utilisation de matières azotées de la ration par une vache laitière en lactation (Adaptée de Spek et al., 2013).

I.1.2. Facteurs influençant la teneur en protéines du lait et en azote uréique urinaire

Les protéines du lait représentent environ 25 % du total des matières sèches du lait et leur concentration dans le lait des mammifères peut varier de 10 à 200 g/kg (Murphy & O'mara, 1993). La teneur des protéines du lait est en grande partie déterminée par la génétique de la vache (Forsbäck et al., 2010). Mais aussi, elle peut être affectée par l'alimentation, la parité, les maladies et l'environnement (DePeters & Cant, 1992; Murphy & O'mara, 1993).

Toutefois, le stade de lactation a aussi un impact sur la teneur des protéines du lait (Beever et al., 2001). Etant plus haute après le vêlage, la teneur en protéines du lait descend pour atteindre son niveau le plus bas entre 5 et 6 semaines de lactation et va augmenter à nouveau graduellement à la fin de la lactation (Beever et al., 2001). La teneur en urée du lait est affectée par de nombreux facteurs liés aux différences dans l'alimentation, la gestion et aussi des différences entre les vaches (Spek et al., 2013).

Le taux d'urée du lait est fortement corrélé avec l'azote uréique urinaire (Jonker et al., 1998; Nennich et al., 2005) et est un indicateur de l'efficacité d'utilisation de la protéine de la ration et des rejets d'azote dans l'environnement (Jonker et al., 1999; Nousiainen et al., 2004). De plus, les équations de régression linéaire permettant de prédire l'excrétion d'azote dans l'urine tiennent en considération du taux d'azote uréique du lait (Broderick, 2003; Munyaneza, 2019).

De cette manière, on peut facilement comprendre que les facteurs qui influencent l'urée du lait sont ceux qui influencent l'efficacité de l'utilisation de l'azote et par la suite, les pertes d'azote dans l'urine.

I.1.2.1. Facteurs liés à l'animal

I.1.2.1.1. Impact de la génétique

La teneur en urée et en protéines du lait est affectée par la génétique de la vache. Ainsi, il sied de signaler que la composition du lait varie en fonction des races de vaches (Pacheco, 2016). L'azote non protéique marque une variation importante pour une même race alors qu'elle est moins variable d'une race à l'autre (DePeters & Cant, 1992).

D'autre part, il semble que la teneur en urée est modérément héritable, ce qui implique qu'il peut y avoir un aspect génétique lié à des modifications dans la concentration en urée du lait (Spek et al., 2013).

Egalement, on observe des concentrations plus élevées d'urée dans le lait pour les vaches à haut potentiel génétique pour la teneur en protéines du lait que les vaches avec un potentiel génétique bas (Trevaskis & Fulkerson, 1999). En outre, suite à une ingestion élevée de protéine brute, une augmentation de la production du lait va augmenter la teneur en urée du lait (Jonker, Kohn, & High, 2002; Jonker, Kohn, & Hight, 2002). Aussi, il existe une corrélation négative entre le poids vif des vaches et la concentration en urée du lait (Jonker et al., 1998).

I.1.2.1.2. Impact du stade de lactation, l'âge et de la parité

Le stade de lactation peut influencer la variation d'urée et la teneur des protéines dans le lait. La teneur d'urée dans le lait est faible pendant le premier mois de lactation, s'accroit rapidement pendant le deuxième mois et lentement pour les mois suivants (Arunvipas et al., 2003; Canfield et al., 1990) car, pendant les premiers jours de cycle de lactation, les vaches ingèrent moins alors que leurs besoins de production augmentent brusquement (Carlsson et al., 1995). Selon l'évolution de la courbe de lactation, le taux d'urée du lait est élevé (entre 60ème et 90ème jour) durant la période correspondant au pic de lactation (Oltner et al., 1985).

En effet, la teneur des protéines du lait des premières traites après le vêlage est très élevée, en moyenne 14,9 ± 3,3 % dans le colostrum, principalement à cause de la présence d'immunoglobulines provenant du sang (Kehoe et al., 2007). Ensuite, elle diminue rapidement au cours des cinq premiers jours de lactation, puis plus lentement par la suite jusqu'à l'atteinte d'un minimum entre la cinquième et la dixième semaine après le vêlage (Murphy & O'mara, 1993).

D'autre part, la teneur des protéines du lait est généralement plus faible chez les vaches primipares que chez les multipares du fait de la difficulté des vaches primipares à mobiliser leurs réserves de protéines puisqu'elles en ont aussi besoin pour leur croissance (Arunvipas et al., 2003; Brun-Lafleur et al., 2010).

La parité des vaches peut aussi avoir un effet sur l'urée du lait. Des études ont montré que les vaches primipares obtiennent généralement une concentration d'urée du lait légèrement plus faible à celle des vaches en deuxième et troisième lactation (Arunvipas et al., 2003; Wood et al., 2003) bien que d'autres n'ont pas montré d'effet de la parité sur la concentration d'urée du lait (Rajala-Schultz & Saville, 2003; Schepers & Meijer, 1998).

Oltner et al., (1985) ont trouvé que la moyenne des taux d'urée du lait était de 2,12 mg/dl inférieure chez les vaches jeunes comparée aux vaches plus âgées.

I.1.2.2. Facteurs liés à l'aliment

I.1.2.2.1. Niveau des protéines brutes

La génétique de la vache est le principal facteur déterminant la teneur des protéines du lait (Forsbäck et al., 2010). En outre, l'alimentation semble avoir un impact restreint sur la teneur des protéines du lait (Tamminga, 1992)..

En effet, la teneur des protéines du lait peut être réduite quand les rations sont supplémentées avec de la protéine ingérée non dégradable non équilibrée en acides aminés par rapport aux besoins de la vache (Schwab et al., 2005).

En revanche, le niveau des protéines brutes (PB) dans une ration est le principal facteur nutritionnel pouvant influencer la concentration d'urée dans le lait et la portion d'azote excrété dans les urines. Plusieurs études ont montré une corrélation positive entre la variation des concentrations d'urée dans le lait et les pourcentages des protéines brutes de la ration (Pacheco, 2016; Rzewuska & Strabel, 2013).

Une augmentation de 1% de la protéine de la ration peut entrainer un accroissement de 1,04 et 1,24 mg/dl d'urée dans le lait de vaches qui produisent respectivement 40 et 30 kg de lait /jour (Aguilar et al., 2012). De plus, une diminution de la protéine brute de la ration de 17,5 à 16,4 % peut diminuer l'urée du lait ainsi que la consommation d'azote sans nuire à la production et la teneur des protéines du lait (Wattiaux & Karg, 2004).

Colmenero & Broderick (2006) ont montré dans leur étude qu'une diminution de 19,4 à 15 % de la protéine brute entraîne une réduction en moyenne de 2,4 mg/dl de l'urée du lait. L'urée du lait peut résulter de l'excès des protéines dégradables dans le rumen, du catabolisme des acides aminés dans le foie et de l'inefficacité globale d'utilisation de l'azote (Broderick & Clayton, 1997; DePeters & Cant, 1992).

L'azote non protéique du lait, plus particulièrement l'urée, est le plus souvent augmentée lorsque les vaches sont nourries par des rations contenant des sources de protéines riches en protéines dégradables dans le rumen (PDR) ne contenant pas une quantité suffisante d'hydrates de carbone non structuraux (Baker et al., 1995; Oltner & Wiktorsson, 1983).

Lorsqu'une ration contient des quantités réduites des protéines brutes ou pauvres en protéines dégradables dans le rumen, les taux d'urée du lait et l'N uréique urinaire sont généralement bas (Weiss & Pinos-Rodríguez, 2009).

I.1.2.2.2. Energie de la ration

La disponibilité de l'énergie dans le rumen influence aussi la teneur des protéines et l'urée du lait. Les microorganismes du rumen ont besoin d'énergie sous forme d'ATP pour capturer et utiliser l'NH_4^+ comme une source d'azote nécessaire pour la synthèse de leurs propres protéines afin d'assurer leur croissance (Nocek & Russell, 1988). En effet, les expériences ont montré que l'inclusion d'ensilage de maïs dans les rations permet d'augmenter significativement la teneur des protéines du lait (Brito & Broderick, 2006; Kononoff et al., 2003). De plus, l'alimentation des vaches laitières avec des régimes à hautes teneurs en amidon a entrainé l'augmentation de la production laitière et la teneur des protéines du lait (Zebeli et al., 2012).

Certains facteurs comme la supplémentation des rations avec du gras peuvent réduire la teneur des protéines du lait de l'ordre de 0,3 à 1,0 g/kg (Chilliard, 1993).

Un apport suffisant en énergie sous forme de glucides non fibreux (l'avoine, l'orge, le blé) et de fibres digestibles (cellulose, hémicellulose) s'accompagne d'une augmentation de la synthèse des protéines microbiennes (Hristov et al., 2004) et d'une diminution du taux d'urée du lait et de l'N excrété avec les urines (Sairanen et al., 2005).

Par contre, un apport insuffisant de glucides fermentescibles dans une ration riche en protéines dégradables dans le rumen augmente la quantité d'urée dans le sang ou lait et l'azote rejeté dans l' environnement (Geerts et al., 2004).

I.1.3. Equilibre des rations pour améliorer l'efficacité azotée des vaches laitières

Les animaux laitiers ne produisent du lait proportionnellement à leur potentiel génétique que lorsqu'ils reçoivent une ration nutritionnellement équilibrée (Garg et al., 2013).

Dans le cadre de l'alimentation d'une vache laitière, l'équilibre d'une ration fait allusion à une parfaite adéquation entre les apports alimentaires et les besoins de la microflore du rumen d'une part et de l'animal d'autre part (Munyaneza, 2019).

Pour pouvoir valoriser une ration, le fonctionnement du rumen doit être optimal. De même, la synchronisation de l'apport de protéines dégradables dans le rumen et de glucides fermentescibles est importante pour obtenir une fermentation ruminale optimale et une excrétion minimale d'azote par les ruminants (Ipharraguerre & Clark, 2005).

Les glucides constituent une source de l'énergie nécessaire à l'activité métabolique de la microflore ruminale tandis que les protéines dégradables permettent à la microflore de réaliser sa propre protéosynthèse en se servant de l'énergie (Horacio et al., 2017).

Nadeau et al., (2007) ont prouvé que lorsque les protéines non-dégradables et dégradables dans les régimes alimentaires sont correctement formulées, des concentrations alimentaires de PB de 160 à 170 g/kg MS peuvent être utilisées pour les vaches en début de lactation afin d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote sans entraîner une diminution simultanée de la production laitière.

L'optimisation de l'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières est un enjeu technique et économique majeur dans un contexte de raréfaction des concentrés protéiques et de la réduction des rejets azotés dans l'environnement (Cutullic et al., 2013).

I.1.3.1. Principes de base pour la formulation d'une ration équilibrée

Le taux d'incorporation des PB dans une ration est un élément clé en nutrition azotée d'une vache laitière. Même si le taux des PB joue un rôle important dans la formulation des rations des vaches laitières, il ne devrait pas être le seul facteur à prendre en compte lors de l'élaboration des rations alimentaires (Horacio et al., 2017). Entre autres, la formulation des régimes à faible teneur en PB (<15%) peut réduire la production de lait et la teneur en protéines de lait (Horacio et al., 2017).

En outre, les régimes équilibrés sur la base des PB risquent de suralimenter ou de sous-alimenter les vaches en protéines car les besoins en protéines métabolisables (PM) de la vache pourraient être satisfaits à différentes teneurs en PB (Block, 2014).

En équilibrant les PM, les rations des vaches laitières peuvent être adaptées à des teneurs en PB comprises entre 14 et 15% tout en maintenant des niveaux satisfaisants de production de lait. Lorsqu'il n'y a pas d'équilibre des PB, on est confronté à une contamination potentielle de l'environnement due aux pertes d'azote dans l'environnement, ainsi que des pertes économiques liées à une faible production laitière ou à des coûts excessifs liés aux achats d'aliments concentrés protéiques (Horacio et al., 2017).

Le tableau 1 montre quelques repères à suivre pour le maintien de l'efficacité d'utilisation des protéines en alimentation d'une vache laitière.

Tableau 1. Quelques repères pour maintenir l'efficacité d'utilisation des protéines en alimentation d'une vache laitière (Hutjens et Chase, 2007)

Désignation	**Recommandations**
PB	15-18% MS de la ration
PDR	60-65% de PB
PNDR	35-40% de PB de la ration
Protéines solubles	50% de PDR
Amidon	24-28% MS de la ration
Sucres	4-6% MS de la ration
Rapport protéines / matières grasses du lait	> 75% (une valeur inférieure suggère un taux bas d'urée du lait et donc le risque d'acidose)
Consistance du fumier	- plus molle (taux élevé d'urée du lait) - plus ferme (taux bas d'urée du lait)

Légende :

PB : protéines brutes

PDR : protéines dégradables dans le rumen

PNDR : protéines non dégradables dans le rumen

I.1.3.2. Notion d'apports et besoins alimentaires des vaches laitières

Les vaches laitières ont des besoins en : énergie, matières azotées, minéraux, vitamines et l'eau (Meyer & Denis, 1999). Ces besoins sont en fonction de l'ensemble de ses dépenses d'entretien, de croissance, de production laitière et de gestation (INRA, 2010).

I.1.3.2.1. Apports et besoins énergétiques

I.1.3.2.1.1. Besoins d'entretien

Ces besoins correspondent à la consommation des nutriments nécessaires au maintien de la vie d'un animal sans aucune variation de sa masse corporelle (Barret, 1992).

Besoins énergétiques d'entretien = $0,041 \times PV^{0,75}$ où $PV^{0,75}$ = poids métabolique

I.1.3.2.1.2. Besoins de la production laitière

Ces besoins varient selon la qualité de lait produit, sa composition en taux butyreux et en taux protéique et représentent l'ensemble des synthèses et exportations réalisées par la mamelle pour la production laitière (Nabila, 2010).

- Besoins de production = 0,44 x PL ; PL= production de lait/ jour corrigé à 4% MG
- Besoins de gestation :
  - ✓ +0,9 UFL le 7ème mois de gestation
  - ✓ +1,6 UFL le 8ème mois de gestation
  - ✓ +2,6 UFL le 9ème mois de gestation

I.1.3.2.2. Apports et besoins en protéines

Les besoins totaux en azote correspondent à la somme des besoins d'entretien, de production, de gestation et de croissance exprimés (en g de PDI/j) selon (INRA, 2010) :

Les besoins en PDI en g par jour :

- Besoins d'entretien = 3,25 x $PV^{0,75}$; $PV^{0,75}$ = poids métabolique (kg)

- Besoins de production de lait = 48g x PL ; PL = production de lait (kg/jour)

Selon le système des MAD, les besoins de production de lait sont égaux à 60g fois la production laitière.

- Besoins de gestation :

- + 470 g pendant le 7ème mois de gestation
- + 530g pendant 8ème mois de gestation
- + 600g pendant le 9ème mois de gestation

- Besoins de croissance = 300 g/kg de GMQ (gain quotidien moyen).

Pratiquement, les besoins quotidiens totaux en PDI sont exprimés de manière factorielle ou sous forme de densité en considérant les équations établies à l'INRA (2007) :

- $MSI=1,4\ PV^{0,75} +0,25PL$

- $PDI = 3,25\ PV^{0,75} + 48PL$

Où : MSI= Matières sèches ingérés, $PV^{0,75}$ = poids métabolique, PDI = protéines digestibles dans l'intestin et PL = production laitière, MAD = matières azotées digestibles.

Les apports recommandés en énergie, protéines et minéraux pour les vaches laitières sont repris dans le tableau 2 et 3.

Tableau 2. Teneurs recommandées des rations des vaches laitières en énergie, en azote et en fibres selon le cycle de production (Araba, 2006)

Phase	Tarissement-vêlage (2mois)	Vêlage-pic de lactation (2mois)	Pic de lactation-milieu de lactation (3mois)	Milieu de lactation-Tarissement (5mois)
UFL/kg MS	0,6-0,65	0,85-0,90	0,85	0,75
MAT,% de la MS	11-12	17-19	15	14
Cellulose brut, % de la MS	20-22	14-15	15	17

Tableau 3. Apports journaliers recommandés globaux (entretien + production) des éléments minéraux majeurs basés sur le besoin énergétique (Meschy, 2007)

	Phosphore	Calcium	Magnésium	Sodium	Chlore	Potassium
Entretien :						
Croissance		0,663MSI + 0,008PV		0,015PV	0,23PV	0,105PV
Gestation	0,83MSI + 0,002PV	0,015PV	0,007PV	0,015PV	0,023PV	0,105PV
Lactation		0,663MSI + 0,008PV		0,023PV	0,035PV	0,150PV
Production : Croissance (par kg de gain)	$1,2+4,66PVad^{0,22}$ x $PV^{0,22}$	$9,83\ PVad^{0,22}$ x $PV^{0,22}$	0,40	1,40	1,00	1,60
Gestation (derniers tiers)	$7,38/1+_e(19,1-5,46$ x log (sg))	$23,5/1+_e(18,8-5,03$ x log (sg))	0,30	1,30	1,00	1,00
Lactation (par kg de lait)	0,90	1,25	0,15	0,45	1,15	1,50

PVad : poids vif adulte en kg.

sg : semaine de gestation

PV : poids vif en kg.

MSI : matière sèche ingérée en kg/j.

IIème Partie : PARTIE EXPERMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

I.1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude a été réalisée dans une ferme laitière commerciale « Green farm ». Il s'agit d'une ferme moderne de référence conçue en 2018 pour servir de vitrine au savoir-faire burundais en matière d'élevage de bovins laitiers. Elle est située à la 11ème transversale de la Commune Gihanga en Province de Bubanza se trouvant à l'ouest du Burundi à 1768 m d'altitude. Dans cette circonscription, la température moyenne annuelle est de 25°C et les précipitations moyennes annuelles de 494,6mm.

I.2. Description de la ferme

La majeure partie des terres de la « Green farm » est consacrée aux cultures fourragères destinées à l'alimentation des animaux. Les génotypes des animaux élevés sont le pur-sang frison, pur-sang brune suisse, pur-sang jersey, croisés frisons et croisés brunes suisses. Le cheptel est composé de 648 têtes dont 162 vaches laitières de race frisonne, 31 vaches brunes suisses, 1 vache jersey et 1 vache croisée Sahiwal. Le reste est constitué des veaux, génisses, taureaux et taurillons. Parmi les 162 vaches laitières frisonnes, seules 102 vaches étaient en cours de lactation pendant la période de l'étude. Les vaches laitières sont nourries avec du fourrage 2 fois par jour : le matin vers 8h30 min et dans l'après-midi vers 16h30 min. L'abreuvement se fait à volonté. Les aliments concentrés et la drêche sont distribués pendant la traite. La traite est réalisée 2 fois par jour manuellement pour les vaches moins productrices et mécaniquement à la machine pour les vaches hautes productrices. La traite est réalisée à des heures fixes : le matin à 5h00 et le soir à 15h00. La figure 2 montre une vache laitière disposée à la mangeoire pour être nourrie et la figure 3 montre une vache laitière en train d'être traite manuellement.



Figure 2. Disposition des vaches laitières aux mangeoires



Figure 3. La traite manuelle

I.3. Approche pratique

Des visites régulières ont été effectuées à la ferme « Green farm » depuis le mois de Janvier jusqu'au mois de mai en 2024 dans le but de caractériser les rations distribuées aux vaches laitières en lactation durant cette période (4 mois) correspondant à la saison des pluies.

Des échantillons du fourrage (*Pennisetum spp* + herbes naturelles), d'aliments composés concentrés ainsi que la drêche de brasserie ont été collectés afin d'analyser leurs teneurs en protéines brutes et en déduire la quantité d'azote ingéré par les vaches laitières de la ferme. Parallèlement, des échantillons de lait ont été collectés sur 36 vaches laitières de génotype frison choisies en fonction du stade de lactation, du poids vif et du niveau de production laitière journalière.

I.3.1. Calcul de la taille de l'échantillon

Pour déterminer la taille de l'échantillon, nous avons utilisé la formule suivante (Triola & Triola, 2012):

$$n= \left[\frac{z\frac{\alpha}{2}\,\sigma}{E}\right]^2$$

Avec :

$z\frac{\alpha}{2}$ = score Z critique basé sur le niveau de confiance (95%)

σ= Ecart-type dans la population

E= erreur à 5%

L' écart-type dans la population (σ) n'étant pas connu, on utilise l' écart-type dans l'échantillon (s). On aura :

$$n= \left[\frac{z\frac{\alpha}{2}\,s}{E}\right]^2$$

Etant donné que Z= 1.96 et E= 5, $n= \left[\frac{1.96x15}{5}\right]^2 = 34.57$

Donc la taille de l'échantillon a été de 35 et comme les vaches laitières sont réparties en 4 groupes de 9 vaches selon le stade de lactation, on prend n= 36.

I.3.2 Echantillonnage au niveau de la ferme

I.3.2.1. Choix des animaux

Un effectif de 36 vaches ont été sélectionnées et réparties en 4 groupes dont 9 vaches laitières chacun selon le stade de lactation : en début de lactation (1 à 50 jours de lactation), pic (51 à 100 jours de lactation), milieu (101 à 200 jours de lactation) et fin de lactation (201 à 305 jours de lactation).

I.3.2.2. Estimation du poids des vaches

Le poids des vaches laitières sélectionnées a été estimé par la mesure du périmètre thoracique à l'aide d'un mètre ruban (Agabriel et al., 2007). La figure 4 montre la technique de l'estimation du poids de la vache laitière par la mesure du tour de poitrine.



Figure 4. Mesure du tour de poitrine

I.3.2.3. Mesure et échantillonnage d'aliments

Les quantités des concentrés, de drêche et de fourrage distribués aux vaches retenues ainsi que les refus ont été pesées en vue de déterminer les quantités d'azote distribué et réellement ingéré par chaque vache. Les échantillons (de fourrage, de la drêche et des concentrés) ont été prélevés afin d'être analysés pour déterminer leur teneur en matière sèche et en N total. La figure 5 montre le fourrage semi broyé mélangé avec des rizières prêts à être distribué aux vaches laitières.



Figure 5. Fourrage semi broyé prêt à être distribué aux vaches laitières

Le tableau 4 montre les différents ingrédients constituant les aliments concentrés destinés aux vaches laitières ainsi que leurs proportions.

Tableau 4. La formule de la composition des aliments concentrés pour les vaches laitières à la Green farm

Nom de l'ingrédient	Pourcentage
Farine de maïs	30%
Son de blé	16%
Son de riz	15%
Tourteau coton	10%
Tournesol	12%
Tourteau palmiste	12%
Calcaire	2%
Sel de cuisine	1%
Premix	1%
Farine d'os	1%
Total	100%

I.3.2.4. Mesure de la production et échantillonnage du lait

La quantité de lait produite par chaque vache a été enregistrée. Des échantillons de lait (500 ml par vache) ont été prélevés et mis dans des flacons de 1 litre pour déterminer leur teneur en N total ainsi que la matière grasse pour le lait. Lors de notre étude nous avons récolté les échantillons sur les vaches qui sont traites manuellement.

Les échantillons ont été directement acheminés au laboratoires d'analyses des sols et produits agroalimentaires (LASPA) de l'ISABU. L'échantillonnage des rations et du lait pour l'analyse chimique a été réalisé une fois pour toute.

I.3.3. Analyses chimiques des échantillons

Les analyses effectuées concernent l'azote du lait, du fourrage, des aliments concentrés ainsi que la drêche de brasserie. Afin de déterminer la qualité de lait produit à la « Green farm », les taux de protéines totales et la matière grasse du lait ont été analysés.

I.3.3.1. Analyse de la teneur en matière sèche du fourrage, de la drêche et des aliments concentrés

I.3.3.1.1. Méthode d'analyse

La teneur en matière sèche a été déterminée suivant la norme AOAC 930.04, 21st Edition, 2019 et la méthode interne du laboratoire d'analyses des sols et produits agroalimentaires (LASPA) (AOAC, 2019).

I.3.3.1.2. Matériel utilisé

- Une balance analytique de précision
- Des coupelles de dessiccation en acier inoxydable, munis d'un couvercle
- Un dessiccateur
- Une étuve isotherme

I.3.3.1.3. Echantillonnage

A l'arrivée au LASPA les échantillons de fourrage, de la drêche et des aliments concentrés ont été échantillonnés suivant la norme AOAC 922.01, 21st Edition, 2019 et la méthode interne de LASPA.

I.3.3.1.4. Prétraitement de l'échantillon

Les échantillons ont subi de prétraitements préalables suivant la norme AOAC 922.02, 21st Edition, 2019 et la méthode interne de LASPA.

I.3.3.1.5. Mode opératoire

Ils ont été séchés à 105˚C pendant une nuitée (12h) à l'étuve puis broyés dans un broyeur équipé d'un tamis en acier inoxydable, puis mélangés soigneusement par laminage et enfin échantillonnés suivant les mêmes normes.

I.3.3.1.6. Détermination de la teneur en matière sèche

La formule utilisée pour déterminer la matière sèche a été la suivante :

$$Humidité = \frac{T+ echantillon\ avant\ séchage - T+ echantillon\ après\ séchage}{Prise\ d'essai} \text{ x } 100$$

M.S = 100-Humidité

Où T= la masse tare

Source : LASPA, 2024

I.3.3.2. Analyse de la teneur en azote du fourrage, de la drêche de brasserie et des concentrés

I.3.3.2.1. Méthode d'analyse

La teneur en azote du fourrage et des concentrés a été déterminée par la méthode Kjeldahl suivant la norme AOAC 984.13A, 21st Edition, 2019.

I.3.3.2.2. Estimation de l'azote ingéré

D'abord on a calculé la matière sèche ingérée (MSI) par chaque vache dans le fourrage (obtenu en multipliant la quantité du fourrage ingéré par la vache et la teneur en matière sèche du fourrage /100), dans les concentrés (obtenu en multipliant la quantité des concentrés ingérée par la vache et la teneur en matière sèche des concentrés /100) et dans la drêche (obtenu en multipliant la quantité de la drêche ingérée par la vache et la teneur en matière sèche de la drêche /100).

La quantité d'azote ingéré par la vache laitière a été obtenue en additionnant la quantité d'azote ingéré dans le fourrage (obtenue en multipliant la MSI dans le fourrage et le taux des PB du fourrage /6,25), dans les concentrés (obtenu en multipliant la MSI dans les concentrés et le taux des PB des concentrés /6,25) et dans la drêche (obtenu en multipliant la MSI dans la drêche et le taux des PB de la drêche /6,25).

I.3.3.3. Analyse de la teneur en protéines du lait

La teneur en protéines du lait a été déterminée par la méthode Kjeldahl suivant la norme AOAC 984.13A, 21st Edition, 2019.

I.3.3.4. Analyse de la matière grasse du lait

La teneur en matière grasse du lait a été déterminée par la méthode de Soxhlet suivant la norme ISO 14156 :2001 et la norme AOAC 945.16, 21st Edition, 2019.

I.3.3.5. Détermination de la teneur en azote de l'urine

Du fait que le recueil de l'échantillon des urines pour l'analyse de la teneur en azote est un acte invasif qui nécessite un prélèvement direct des urines à l'intérieur de la vessie, la teneur en azote dans l'urine a été prédite suivant l'équation de régression décrite par (Monteils, 2002)

N urinaire (g/j) = -166 + 11,6 x MAT de la ration (%) + 0,3 x N ingéré (g/j)

(r2 = 0,84 ; ETR = 37 ; n = 88). Où r2 = coefficient de détermination ; ETR = Ecart-Type Résiduel ; n = Nombre d'individu

I.3.4. Détermination de l'efficacité d'utilisation de l'azote

L'efficacité d'utilisation de l'azote ou l'efficacité azotée a été calculée par le rapport entre la quantité d'azote ingéré (Ni) et d'azote excrété sous forme de protéines dans le lait (NL). Ainsi

L'efficacité d'utilisation de l'azote (EUN) est donnée par la formule suivante :

EUN (%)= NL/Ni

Où

NL (g) = (g de lait x (protéines totales du lait % /100)) / 6,38

Ni (g) = (MSI (g) x (protéines brutes de la ration % /100)) / 6,25

I.3.5. Analyse statistique des données

Les analyses statistiques des résultats obtenus ont été effectuées à l'aide des logiciels STATA 15 et SPSS 20. Le logiciel SPSS 20 nous a permis de faire les analyses descriptives des données pour déterminer les valeurs moyennes et les écart-types des variables de l'étude. Les coefficients de corrélation de Pearson ont été utilisés pour étudier les relations entre les variables étudiées.

Une analyse de la variance (ANOVA) nous a permis de comparer les moyennes des variables étudiées pour vérifier si les différences étaient significatives. Le logiciel STATA 15 nous a permis d'analyser l'effet du stade de lactation sur les variables de l'étude.

Evaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote des vaches laitières en stabulation permanente dans la région de l'Imbo : « Cas de la ferme Green farm »

Afin de déterminer les facteurs influençant significativement l'efficacité d'utilisation de l'azote et l'azote excrété dans les urines par les vaches laitières à la Green farm, les données ont été analysées à l'aide des modèles de régression linéaire suivant :

EUN (%) = β_0 + β_1 Poids (Kg) + β_2 Ni total (g/j) + β_3 Qté de lait produite (Kg/j) + β_4 N lait (g/j) + β_5 NU(g/j) + β_6 Jours lactation (j) + ε ;

Si la valeur EUN (%) trouvée est inférieure à 25%, l'efficacité de la conversion de la protéine alimentaire en protéines du lait par les vaches laitières à la Green farm serait faible.

NU (g/j) = β_0 + β_1 Poids (Kg) + β_2 Ni total (g/j) + β_3 Qté de lait produite (Kg/j) + β_4 N lait (g/j) + β_5 Jours lactation (j) + β_6 EUN (%) + ε

Où : β_0 = constante

EUN (%) = le pourcentage de l'efficacité de l'utilisation de l'azote (%)

NU (g/j) = la quantité de l'azote excrété dans l'urine par jour (g/j)

Poids (Kg) = le poids de la vache laitière (Kg)

Ni total (g/j) = l'azote ingéré par la vache laitière (g/j)

Qté de lait produite (Kg/j) = la quantité de lait produit par jour (Kg/j)

N lait (g/j) = la quantité d'azote sécrété dans le lait produit (g/j)

Jours lactation (j) = le stade de lactation de la vache laitière

β_i ($_i$= 0.1.2.3.4.5.6) sont les paramètres inconnus de la population

ε = la perturbation ou le terme d'erreur.

CHAPITRE II : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

II.1. Les résultats d'analyse chimique des rations

Les résultats sur les teneurs en matières sèches et en protéines brutes des rations distribuées à la ferme « Green farm » sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5. La teneur en matière sèche et en azote des différents types d'aliments

Résultats / Echantillon	Teneur en MS (%)	% des protéines en MS
Fourrages mélangés	32,2	22,8
Aliments concentrés mélangés	88,5	10,3
Drêche de brasserie	42,4	50,3

Source : Résultats du LASPA, 2024

Il s'avère que la teneur en matière sèche du fourrage est de 32,2% et celle des protéines brutes est de 22,8% de la MS. Les valeurs trouvées par l'ISABU (2014) montrent que le *Pennisetum purpureum* contient 28 - 40 % de MS et 10 - 16 % PB/kg de la MS. De plus, les résultats d'une étude menée dans les exploitations laitières modernes de Gitega et dans la station zootechnique de Mahwa, ont montré que les teneurs moyennes de *Pennisetum purpureum* étaient de 29,8% de MS et 10,1% PB/kg de la MS (Chapaux et al., 2012). La valeur élevée des protéines brutes du fourrage de la « Green farm » pourrait être due à l'effet de l'épandage du fumier dans les champs fourragers de la « Green farm ». Par ailleurs, Okukenu et al. (2021) ont montré que le *Pennisetum purpureum* fertilisé avec du fumier de la ferme bovine avait une teneur en matière sèche et en protéines brutes plus élevée que celui fertilisé avec d'autres fumiers. D'autres parts, la teneur élevée des protéines brutes du fourrage du Green farm pourrait être due à d'autres herbes récoltées dans les rizières mélangées avec le *Pennisetum purpureum*.

Les résultats présentés dans le tableau 5 révèlent que les aliments concentrés ont une teneur en matières sèches de 88,5% et de 10,3% PB/kg de la MS. Ces teneurs en protéines brutes des aliments concentrés sont supérieures à celles trouvées (7,3%) lors de l'étude menée dans les exploitations laitières modernes de Gitega et de la station zootechnique de Mahwa (Chapaux et al., 2012).

Cuvelier & Dufrasne (2015) rapportent que les aliments concentrés composés utilisés dans l'alimentation des bovins ont généralement une teneur en MS proche de 90 % et une teneur en protéines brutes allant de 14 à 40 %. Cette situation de la pauvreté en nutriments des aliments concentrés de la Green farm pourrait être due à une mauvaise qualité des ingrédients entrant dans la formulation des rations ou à des conditions de conservation inadéquates de ces derniers.

La teneur en MS de la drêche est 42,4% et la teneur en PB de 50,3% de la MS. Heuzé et al. (2017) ont rapporté que la drêche de la brasserie humide a une teneur en MS allant de 21,7% à 28,9% et une teneur en PB allant de 20,3% à 30,6%. Cette richesse en MS de la drêche utilisée à la Green farm pourrait être due à l'effet de la conservation à l'air libre qui entrainerait l'évaporation de l'eau tandis que sa richesse en PB pourrait être due aux types de céréales utilisés et au procédé de brassage dans la brasserie.

Les résultats ont en outre montré que les aliments concentrés sont caractérisés par une faible teneur en protéines brutes qui pourrait être compensée par l'incorporation de la drêche de brasserie dans les rations.

II.2. Résultats d'analyse descriptive

II.2.1. Résultats descriptifs des variables

Le tableau 6 montre les résultats de l'analyse descriptive des variables d'intérêt.

Tableau 6. Résultats descriptifs des variables

Statistique / Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Coefficient de Skewness
Taux des protéines du lait (%)	2,43	4,04	2,98	0,36	2,667
Stade de lactation (J)	4	365	131,97	99,54	,533
Poids (Kg)	380	634	531,34	69,66	-,347
Quantité de lait produite (Kg/J)	6,180	19,570	13,15	3,11	,235
N ingéré total (g/J)	445,72	733,52	599,62	70,76	-,225
Protéines du lait (g/J)	199,00	661,47	391,84	102,54	,470
N du lait (g/J)	31,19	103,68	61,42	16,07	,470
EUN %	5,19	17,48	10,22	2,3	,690
N urinaire (g/J)	248,44	334,78	294,61	21,23	-,281
Taux de matières grasses (%)	3,6	4,3	4	0,38	,393

Source : Calcul de l'Auteur (Résultats de SPSS.20 sur base des données)

La matière grasse du lait a été de 4%. Selon Cuvelier & Dufrasne (2015) le taux butyreux du lait varie en général chez une vache Holstein entre 3,5 % et 4,2 %. Green farm produit du lait dont la matière grasse respecte les normes de la qualité.

Le taux des protéines du lait a été de 2,98% (± 0,36) mais la majorité des vaches laitières ont une teneur en protéines du lait se en dessous de la moyenne (Skewness >0). La teneur en protéines du lait se trouve dans la marge de la teneur en protéines du lait allant de 2,8 à 3,5% trouvée par Debry (2001).

Par contre, les résultats d'autres auteurs (Cuvelier & Dufrasne, 2015) rapportent que le taux des protéines du lait se situe en général entre 3,1% et 3,4 %.

Ce taux faible des protéines du lait à la Green farm pourrait être dû à un déficit énergétique par rapport aux protéines des rations distribuées aux vaches laitières ou à un faible taux de protéines dégradables dans le rumen.

Dans ces conditions, le ratio matière grasse / protéines est égal à 1,34. Ce qui est légèrement inférieur à la valeur « seuil » de 1,4 pour les vaches des races laitières autre que la race Jersey (Rombach et al., 2023).

Une acidification de la panse causée soit par un mélange défectueux des aliments, soit par des doses trop importantes d'aliments concentrés (plus de 1,5 kg à la fois) pourrait être à l'origine de ce faible rapport matières grasses / protéines. (Toni et al., 2011) ont rapporté que les fermes dont le ratio matière grasse / protéines est bas présentent une incidence plus élevée de l'acidose ruminale subaiguë et une diminution de la production de lait.

Le nombre de jours de lactation a été en moyenne de 131,97 jours (± 100) et le poids moyen des vaches laitières a été de 531,34kg (± 69,66).

La production par vache laitière a été en moyenne de 13,15kg (± 3,11) de lait par jour et la majorité des vaches laitières ont une production laitière journalière inférieure à la moyenne. Cette production laitière est inférieure à celle trouvée dans les exploitations laitières modernes de Gitega et dans la station zootechnique de Mahwa où les vaches laitières frisonnes nourries au fourrage comprenant le *Pennisetum purpureum* et aux aliments concentrés ont affiché une production laitière journalière de 14,55kg (Chapaux et al., 2012). Cela prouve que la green farm n'est pas réellement une vitrine en élevage laitier.

Cette faible production laitière associée au faible ratio matière grasse / protéines pourrait être due à un déséquilibre alimentaire entre l'énergie et la protéine alimentaire comme rapporté par d'autres chercheurs (Toni et al., 2011).

En considérant la quantité d'azote ingéré et sécrété dans le lait, les résultats de cette étude ont montré que chaque vache laitière a consommé en moyenne 599,62g (± 70,76) d'azote par jour. La quantité d'azote sécrété dans le lait a été en moyenne de 61,42g (±16,07) par jour soit 10,24% de l'azote total ingéré par la vache.

Cette valeur est très faible par rapport à celles trouvées par d'autres chercheurs où des vaches laitières avaient ingéré 624g d'azote par jour et sécrété 151g d'azote (24,19%) dans le lait (Godinot et al., 2022). Horacio et al., (2017) ont également montré qu'une vache laitière pourrait sécréter quotidiennement 28% de l'azote ingéré dans le lait.

L'efficacité d'utilisation de l'azote chez les vaches laitières a été en moyenne de 10,22% (± 2,3). La valeur maximale observée a été de 17,48% tandis que la valeur minimale a été de 5,19%.
Il a été rapporté que l'efficacité de l'utilisation de l'azote chez les vaches laitières varie entre 15 et 40% avec une moyenne de 25% (Arriaga et al., 2009; Ryan et al., 2011). Selon Calsamiglia et al. (2010), l'efficacité de l'utilisation de l'azote est d'environ 25 % avec une large gamme de variations (10 % à 40 %). Et dans les fermes laitières commerciales, elle varie de 20 à 30% avec des valeurs maximales pouvant atteindre 40 à 45% (Chase, 2011). On en déduit que les vaches laitières à la Green farm ont un niveau très bas de conversion des protéines alimentaires en protéines vraies du lait.
Ainsi, les vaches laitières de cette ferme excrèteraient plus d'azote avec les urines que dans le lait. Ce qui risque d'impacter négativement l'économie de la Green farm et le milieu environnant. En effet, plus de 80% de l'azote ingéré est quotidiennement excrété dans l'environnement via les déjections à la Green farm. Cette fraction est supérieure à celle rapportée par d'autres chercheurs que 70% à 80% de l'azote ingéré sont éliminés par les déjections dans l'environnement (Hutson et al., 2013; Kohn & Dinneen, 2018; Spek, 2013; Stott & Gourley, 2016). Dans notre étude, ce surplus pourrait être dû à un niveau élevé d'apport d'azote par rapport à l'énergie et des rations riches en protéines dégradables dans le rumen par rapport aux protéines non dégradables dans le rumen (Hutjens et Chase, 2007). Il pourrait aussi être dû à l'erreur de formulation des rations liée à la non connaissance de la composition des ingrédients entrant dans la formulation.
Une bonne adéquation entre la quantité et la qualité des protéines alimentaires et l'énergie de la ration s'avère nécessaire pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote pour la production laitière et à réduire l'excrétion de l'azote dans l'environnement (Arriaga et al., 2009).

La quantité moyenne d'azote excrété dans l'urine par une vache laitière par jour a été de 294,61g (± 21,23). La quantité maximale excrétée dans l'urine par une vache laitière par jour a été de 334,78g d'azote alors que l'excrétion minimale a été 248,44 g d'azote par jour.

Cette quantité d'azote excrété dans l'urine représente environ 49,13% de l'azote total ingéré qui est supérieure à celle rapportée par Horacio et al (2017) où une vache laitière pourrait excréter quotidiennement 38% de l'N ingéré dans l'urine. Aussi, elle est loin supérieure à celle trouvée par d'autres chercheurs ayant constaté qu'une vache laitière excrétait seulement 26,44% d'azote dans les urines (Godinot et al., 2022).

Donc, plus de 80% de l'azote ingéré serait quotidiennement excrété dans l'environnement via les déjections. Cette fraction est supérieure à celle rapportée par d'autres chercheurs que 70% à 80% de l'azote ingéré sont éliminés par les déjections dans l'environnement (Hutson et al., 2013; Kohn & Dinneen, 2018; Spek, 2013; Stott & Gourley, 2016). Dans notre étude ces rejets très élevés d'azote pourraient notifier une forte inefficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières et renseigner sur l'inadéquation des rations distribuées à la Green farm.

II.2.2. Moyennes et écart-types des variables en fonction du stade de lactation

Le tableau 7 montre les moyennes et les écart-types des variables étudiées en fonction du stade de lactation des vaches laitières.

Tableau 7 Moyennes et écart-types des variables en fonction du stade de lactation

Variables / Stade de lactation	Poids	Quantité de lait produite (kg/J)	N ingéré (g/J)	Taux de protéines du lait (%)	Protéines du lait (g/J)	N du lait (g/J)	EUN (%)	N urinaire (g/J)
Début	486,13 ± 65,09	12,75 ± 4,24	559,13 ± 61,84	3,19 ± 0,58	408,57 ± 156,04	64,04 ± 24,46	11,39 ± 3,90	208,23 ± 18,55
Pic	539,56 ± 60,48	13,62 ± 2,77	607,95 ± 59,26	2,84 ± 0,28	383,75 ± 70,66	60,15 ± 11,08	9,86 ± 1,26	193,64 ± 17.78
Milieu	523,89 ± 78,11	13,45 ± 3,02	595,27 ± 86,20	2,88 ± 0,25	389,53 ± 103,48	61,06 ± 16,22	10,19 ± 1,76	197,04 ± 25.86
Fin	570,78 ± 56,79	12,76 ± 2,82	631,64 ± 64,04	3,04 ± 0,13	387,35 ± 8541	60,71 ± 13,39	9,58 ± 1,57	195,76.21 ± 19.21

Source : Calcul de l'Auteur (Résultats de STATA 15 sur base des données)

Comparaison des variables en fonction du stade de lactation

Le graphique suivant montre la comparaison des moyennes des variables étudiées en fonction de différents stades de lactation

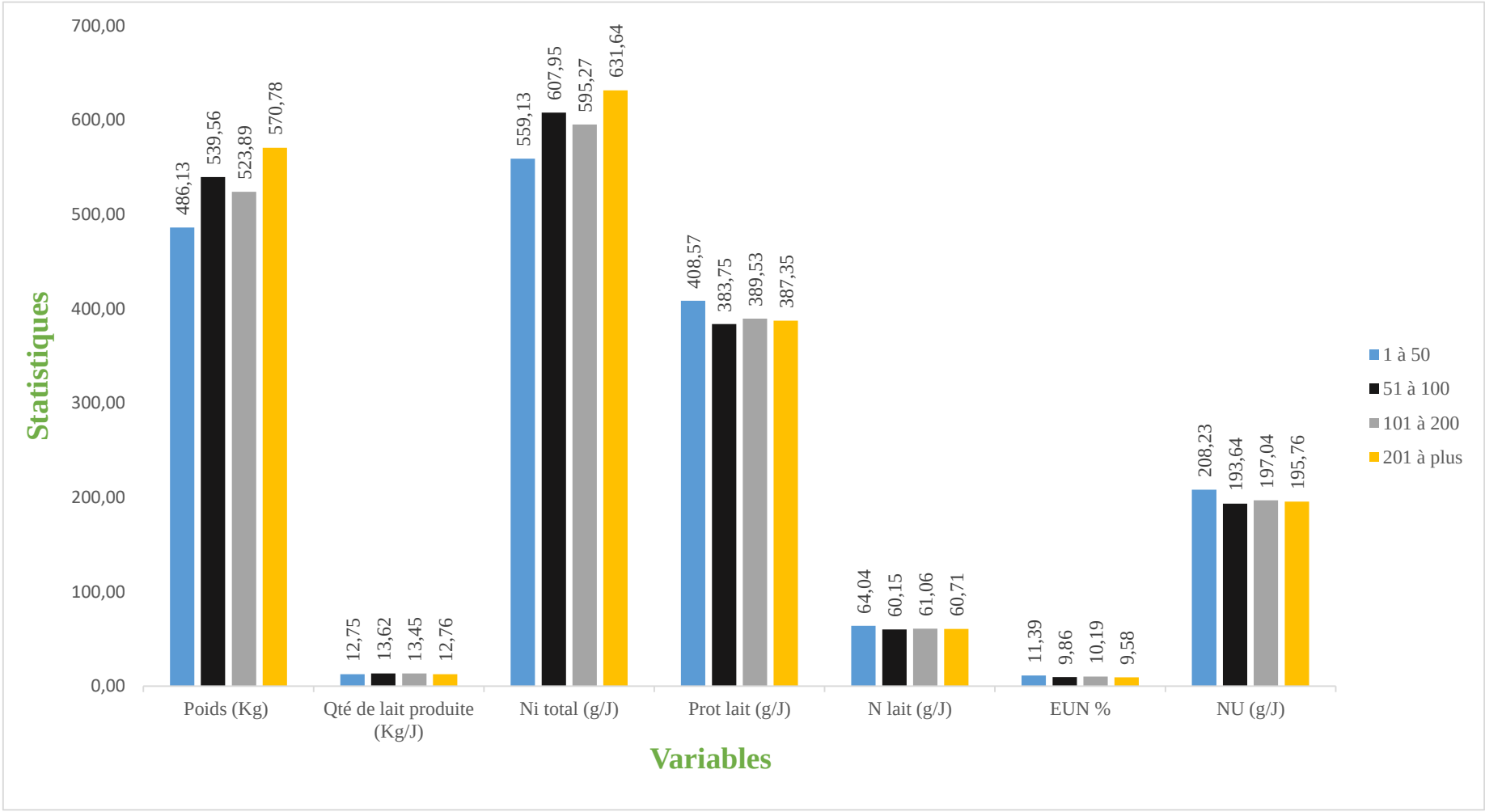


Figure 6. Comparaison des moyennes par stade de lactation

Les vaches laitières se trouvant au pic du cycle de lactation (entre 51 et 100 jours de lactation) sont celles ayant produit une grande quantité de lait par jour 13,62 kg/j (± 2,77) et une faible production laitière a été observé pour celles en début du cycle de lactation 12,75 kg/j (± 4,24). Les résultats concordent avec ceux trouvés par d'autres chercheurs qui ont rapporté que la production quotidienne de lait augmente pour atteindre son maximum entre 6 et 9 semaines de lactation, puis diminue progressivement jusqu'au tarissement (Nebel & McGilliard, 1993; Schutz et al., 1990).

Les vaches laitières en début du cycle de lactation sont celles ayant sécrété plus d'azote dans le lait 64,04g/j (± 24,46) et la sécrétion minimale a été observée pour celles se trouvant au pic du cycle de lactation 60,15g/j (± 11,08). Ces résultats se contredisent à ceux trouvés par d'autres chercheurs que les teneurs en N total du lait des vaches de type Holstein diminuent rapidement après le vêlage jusqu'à atteindre un niveau bas entre 5 et 10 semaines de lactation et augmentent avec l'évolution du stade de lactation (Kaouche-Adjlane, 2019; Ng-Kwai-Hang et al., 1984, 1985). Bien que ces résultats soient contradictoires, on remarque que d'une part, ils corroborent avec ceux de ces auteurs dans le sens que le niveau bas a été obtenu pour les vaches étant au pic de lactation (51 à 100 jours).

Les vaches laitières en début de lactation sont celles ayant une moyenne de l'efficacité de l'utilisation de l'azote élevée 11.39% (±3,90). Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par d'autres chercheurs qui rapportent que l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les vaches laitières est élevée pendant les premiers mois de lactation (Arunvipas et al., 2003). Même si ces vaches laitières en début de lactation à la Green farm ont une efficacité supérieure aux autres, cette efficacité reste inférieure à la valeur moyenne de l'efficacité d'utilisation de l'azote de 25% rapportée par différents auteurs (Arriaga et al., 2009; Calsamiglia et al., 2010; Ryan et al., 2011). Celles étant en fin du cycle de lactation sont les moins efficaces 9,58% (± 1,57).

L'excrétion importante d'azote avec les urines a été observée chez les vaches laitières en début du cycle de lactation 208,23g/j (± 18,55) tandis que l'excrétion minimale a été observée chez les vaches au pic du cycle de lactation 193,64g/j (± 17,78). Vu que les vaches laitières en début du cycle de lactation ont ingéré moins d'azote 559,13g/j (± 61,84) et sont celles ayant manifesté une moyenne de l'efficacité de l'utilisation de l'azote élevée, ces résultats de l'excrétion d'azote urinaire se contredisent aux résultats trouvés par d'autres chercheurs. Cet effet pourrait être dû à une erreur dans le modèle de prédiction de l'azote urinaire qui tient compte de l'azote ingéré. Huhtanen et al., (2008) ; Lapierre et al., (2014) ont rapporté qu'une consommation réduite en N améliore l'efficacité de l'utilisation de l'azote et diminue l'excrétion de N dans l'urine chez les vaches laitières.

II.2.3. Etude de la corrélation des variables.

Le tableau 8 (sur la page suivante) donne les coefficients de corrélation entre les variables de l'étude et leur niveau de significativité.

Tableau 8 Matrice de corrélation des variables

		Stade de lactation	Poids	Qté de lait produite	N ingéré total (g/J)	Protéines du lait (g/J)	EUN	N Urinaire (g/j)	% protéines du lait
Stade de lactation	Cor. de Pearson	1	,379*	-,010	,319	-,060	-,242	,319	-,119
	Sig. (bilatérale)		,025	,954	,061	,731	,162	,061	,498
Poids	Cor. de Pearson	,379*	1	,193	,940**	,248	-,198	,939**	,238
	Sig. (bilatérale)	,025		,268	,000	,151	,255	,000	,169
Quantité de lait produite	Cor. de Pearson	-,010	,193	1	,509**	,896**	,764**	,509**	-,044
	Sig. (bilatérale)	,954	,268		002	,000	,000	,002	,802
N ingéré total (g/J)	Cor. de Pearson	,319	,940**	,509**	1	,525**	,085	1,000**	,198
	Sig. (bilatérale)	,061	,000	,002		,001	,627	,000	,254
Protéines du lait (g/J)	Cor. de Pearson	-,060	,248	,896**	,525**	1	,890**	,525**	,397*
	Sig. (bilatérale)	,731	,151	,000	,001		,000	,001	,018
EUN	Cor. de Pearson	-,242	-,198	,764**	,085	,890**	1	,085	,391*
	Sig. (bilatérale)	,162	,255	,000	,627	,000		,626	,020
N Urinaire (g/j)	Cor. de Pearson	,319	,939**	,509**	1,000**	,525**	,085	1	,198
	Sig. (bilatérale)	,061	,000	,002	,000	,001	,626		,254
Taux de protéines du lait	Cor. de Pearson	-,119	,238	-,044	,198	,397*	,391*	,198	1
	Sig. (bilatérale)	,498	,169	,802	,254	,018	,020	,254	

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). **. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Il existe une corrélation positive significative entre la quantité d'azote ingéré et l'excrétion urinaire d'azote ($r = 1$; $p<0,01$). D'autres études ont prouvé que la quantité d'azote ingéré et l'excrétion urinaire d'azote sont fortement liées de façon linéaire pour les vaches ingérant 200 et 700g d'N/j (Monteils, 2002) et qu'une consommation réduite en N diminue l'excrétion de l'azote dans l'urine et les vaches laitières (Huhtanen et al., 2008; Lapierre et al., 2014).

Nous avons trouvé que l'augmentation de la quantité d'azote ingéré augmente la quantité de protéines et d'azote dans le lait ($r = 0,525$; $p<0,01$). Les résultats se conforment à ceux trouvés par d'autres auteurs que la quantité d'azote ingéré constitue un bon indicateur d'estimation de la quantité d'azote sécrété dans le lait ($r2 = 0,57$) (Monteils, 2002). Mais, ils se contredisent avec ceux de (Castillo et al., 2000) qui rapportent qu'il y a des relations linéaires positives entre l'apport d'azote et l'excrétion d'azote dans le lait jusqu'à un apport de 400 g N/j et qu'au-delà de 400 g N/j, l'excrétion d'azote dans le lait diminue de manière linéaire.

La quantité de lait produite par vache a augmenté avec la quantité d'azote ingéré ($r = 0,509$; $p<0,01$). Cet effet de l'azote ingéré sur la production laitière pourrait être attribuée à la teneur élevée en protéines brutes de la ration (24,42%). Dans l'étude menée en Algérie, il a été constaté que le niveau de production laitière était maximale pour des quantités élevées de concentrés distribuées et celle-ci a significativement diminué pour des quantités de concentrés réduites (Bouzida et al., 2010). Donc le niveau de production du lait des vaches laitières dépend de la quantité d'azote ingéré.

Dans notre étude, il semblerait que la quantité d'azote ingérée n'a pas d'effet sur l'efficacité d'utilisation de l'azote ($r = 0,085$; $p = 0,627$). Pourtant, de nombreuses études ont montré qu'une réduction des apports azotés d'une ration permet d'augmenter l'efficacité azotée (Huhtanen & Hristov, 2009).

Alors que l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'azote alimentaire par les bovins laitiers est le moyen le plus efficace de réduire les pertes de nutriments des fermes laitières (Kohn et al., 2002; Nousiainen et al., 2004), dans notre étude il semble qu'il n'y a pas de relation entre l'efficacité de l'utilisation de l'azote et l'azote urinaire ($r = 0,085$; $p = 0,626$).

On pense que cela a été due à une éventuelle erreur dans la construction du modèle utilisé pour prédire les rejets azotés avec les urines et que les valeurs de l'efficacité azotée des vaches laitières de la Green farm se trouvent en dessous de 15%, la valeur « seuil » rapportée par plusieurs auteurs (Arriaga et al., 2009; Ryan et al., 2011) .

On a trouvé une relation positive forte entre la quantité de lait produite et l'efficacité de l'utilisation de l'azote ($r = 0,764$; $p<0,01$). Ces résultats concordent avec ceux trouvés par d'autres auteurs que l'efficacité d'utilisation de l'azote augmente avec le niveau de production laitière (Lapierre et al., 2014).

Il existe aussi une relation positive fortement significative entre la quantité de lait produite, la quantité de protéines et d'azote dans le lait ($r = 0,896$; $p<0,01$).

Schutz et al., (1990) lors de leur étude sur les vaches Holstein ont observé que les teneurs du lait en protéines évoluent de façon inverse à celle de la quantité de lait produite. Cette relation inverse existe dans notre étude mais elle est non significative ($r = -0,044$; $p = 0,802$). De même, la corrélation positive entre le poids de la vache et la production laitière trouvée par Cristina et al. (2014) existe dans notre étude mais elle est non significative (($r = 1,93$; $p = 0,268$). La quantité d'azote urinaire augmente très significativement avec le poids de la vache ($r = 0,939$) et la quantité de lait produite. Vu que l'azote urinaire augmente avec la quantité d'azote ingéré, cette relation linéaire positive pourrait être due au fait qu'à la Green farm la quantité d'aliments distribués est déterminée en fonction du niveau de production laitière de la vache pour les aliments concentrés et le poids de la vache laitière pour le fourrage.

Hatungumukama et al., (2008) ont trouvé que le rendement laitier maximal au 15ème jour de lactation sur la courbe de lactation**.** Dans notre étude, la production laitière semble être élevée avec la diminution du stade de lactation mais la relation est très faible et non significative ($r = -0,010$; $p= 0,954$). Par contre, un autre chercheur a rapporté que le niveau de production de lait évolue avec le stade de lactation (Monteils, 2002).

Monteils (2002) a prouvé que les quantités d'azote total sécrété dans le lait augmentent jusqu'à 9 et 12 semaines puis une légère diminution est observée au-delà de cette période. Dans notre étude on a trouvé de tels résultats que plus le stade de lactation est petit plus l'azote dans le lait est élevé mais cette relation est faible et non significative ($r = -0,060$; $p = 0,73$).

On remarque une relation positive significative entre l'azote ingéré et le poids de la vache. Cette relation pourrait être attribuée au système d'alimentation des vaches laitières à la Green farm où on distribue le fourrage en fonction du poids de la vache laitière.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

A la lumière des résultats obtenus on a remarqué que Green farm est une ferme laitière moderne dont les niveaux de production laitière et d'efficacité azotée sont à améliorer. La production laitière journalière moyenne reste inférieure à la moyenne de production des vaches laitières frisonnes dans d'autres pays et même ici au Burundi. La production a été maximale au pic mais en général le stade de lactation n'a pas d'effet remarquable sur la production laitière. L'efficacité des programmes alimentaires de leurs vaches laitières mérite d'être améliorée. Le niveau de l'efficacité de l'utilisation de l'azote est très bas et les vaches laitières de tous les stades de lactation ont manifesté un faible niveau de l'efficacité de l'utilisation de l'azote et une quantité élevée d'N excrété avec les urines. Les vaches ingérant moins de quantités d'azote sont celles manifestant des niveaux élevés. On a enregistré une relation positive entre l'efficacité de l'utilisation de l'azote et la production laitière. Une telle relation existe aussi entre l'efficience de l'utilisation de l'azote et la quantité de protéines sécrétées dans le lait. Les responsables de la Green farm doivent revoir les formules d'alimentation de leurs vaches en général et des vaches laitières en particulier pour augmenter la rentabilité de l'entreprise et réduire la pollution environnementale pour mériter d'être une ferme laitière de référence nationale et internationale. Les producteurs laitiers intensifs de la région de l'Imbo doivent consulter les encadreurs techniques ayant des compétences requises afin qu'ils puissent les aider à suivre de près leurs exploitations en matière d'alimentation en vue d'une intensification durable.

Cependant, ce travail est loin d'être exhaustif, il nous incombe de formuler quelques propositions :

- A d'autres chercheurs :

- ✓ d'approfondir la recherche en réalisant l'étude sur une longue période pour voir l'effet de la saison et pour avoir des données récoltées sur plusieurs jours
- ✓ d'utiliser d'autre méthodes jugées plus efficace pour analyser la teneur en azote urinaire
- ✓ d'aller plus loin pour voir l'impact de l'azote perdu dans l'environnement sur les eaux souterraines, sa transformation en gaz à effets de serre, etc….

- A l'ISABU et aux autres institutions de recherche de mettre en place des techniques modernes d'analyse de la teneur en azote urinaire ou autre paramètre (tel que l'azote uréique urinaire) permettant de bien prédire l'azote urinaire

- Au gouvernement pour renforcer l'encadrement et l'accompagnement des éleveurs par des séances de formation – vulgarisation pour ce qui est des techniques modernes d'élevage laitier et faire des recherches pour voir si la nouvelle politique d'élevage en stabulation permanente ne nuit pas à l'environnement
- A la Green farm :

  - ✓ Il faut équilibrer les rations à intervalles réguliers et à chaque fois qu'on change d'ingrédient ou de fourrage : Eviter la philosophie que la qualité d'une ration est fonction de sa teneur en matières azotées totales. Veuillez à l'équilibre entre protéines dégradables, protéines non dégradables et l'énergie ;
  - ✓ Veuillez à la distribution des fourrages de bonne qualité plus digestibles : assurer une production des fourrages fondée sur la qualité de la protéine et des glucides, pas uniquement sur le rendement quantitatif ;
  - ✓ Faire des analyses régulières des échantillons de fourrages et concentrés pour en connaître la valeur nutritive ;
  - ✓ Surveiller et évaluer les concentrations d'azote uréique dans le lait et reformuler les rations si nécessaire ;
  - ✓ Appliquer aux concentrés à base de céréales des traitements qui améliorent la digestibilité des éléments nutritifs : voir le mélange, la qualité des sons, mode de conservation, la distribution des aliments par rapport à la traite.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agabriel, J., Pomies, D., Nozieres, M.-O., & Faverdin, P. (2007). *Principes de rationnement des ruminants. In : INRA, Alimentation des bovins, ovins et caprins. Edition. Quae, Paris.*

Aguilar, M., Hanigan, M. D., Tucker, H. A., Jones, B. L., Garbade, S. K., McGilliard, M. L., Stallings, C. C., Knowlton, K. F., & James, R. E. (2012). Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *95*(12), 1–8. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5582

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. In *Science* (12; 03). https://doi.org/10.1126/science.abo7429

AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (J. Dr George W. Latimer (ed.); 21ème Edit).

Araba, A. (2006, January). Conduite alimentaire de la vache laitière. *Programme National de Transfert de Technologie En Agriculture (PNTTA), DERD*, *037*, 136. http://www.agriculture.ma

Arriaga, H., Pinto, M., Calsamiglia, S., & Merino, P. (2009). Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms : An environmental perspective. *Journal of Dairy Science*, *92*(1), 1–12. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1304

Arunvipas, P., Dohoo, I. R., VanLeeuwen, J. A., & Keefe, G. P. (2003). The effect of non-nutritional factors on milk urea nitrogen levels in dairy cows in Prince Edward Island, Canada. *Preventive Veterinary Medicine*, *59*(1–2), 1–11. https://doi.org/10.1016/S0167-5877(03)00061-8

Baker, L. D., Ferguson, J. D., & Chalupa, W. (1995). Responses in Urea and True Protein of Milk to Different Protein Feeding Schemes for Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *78*(11), 1–11. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76871-0

Barret, J.-P. (1992). *Zootechnie générale. Agriculture d'aujourd'hui sciences, technique, Applications. Disponible sur Google books* (TEC et DOC).

Beever, D. E., Sutton, J. D., & Reynolds, C. K. (2001). Increasing the protein content of cow's milk. *The Australian Journal of Dairy Technology*, *56*(2).

Block, E. (2014). *Rations 101: Dairy cows don't have a crude protein requirement. Progressive Dairymen.* http://www.progressivedairy.com

Børsting, C. F., Kristensen, T., Misciattelli, L., Hvelplund, T., & Weisbjerg, M. R. (2003). Reducing nitrogen surplus from dairy farms. Effects of feeding and management. *Livestock Production Science*, *83*(2–3), 1–14. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00099-X

Bouzida, S., Ghozlane, F., Allane, M., Yakhlef, H., & Abdelguerfi, A. (2010). Effect of the stocking rate and of the diversification of the forages on the production of the dairy cows in the region of Tizi-Ouzou (Algeria). *Fourrages*, *2010*(204), 1–9. https://www.researchgate.net/publication/298956696

Brito, A. F., & Broderick, G. A. (2006). Effect of varying dietary ratios of alfalfa silage to corn silage on production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*(10), 1–15. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72435-3

Broderick, G. A. (2003). Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *86*(4), 1–12. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73721-7

Broderick, G. A., & Clayton, M. K. (1997). A Statistical Evaluation of Animal and Nutritional Factors Influencing Concentrations of Milk Urea Nitrogen 1. *Journal of Dairy Science*, *80*(11), 1–8. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76262-3

Brun-Lafleur, L., Delaby, L., Husson, F., & Faverdin, P. (2010). Predicting energy × protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *93*(9), 1–16. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2669

Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C. K., Kristensen, N. B., & Vuuren, A. M. Van. (2010). Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal, The International Journal of Animal Biosciences*, *4*(7), 1–13. https://doi.org/10.1017/S1751731110000911

Canfield, R. W., Sniffen, C. J., & Butler, W. R. (1990). Effects of Excess Degradable Protein on Postpartum Reproduction and Energy Balance in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, *73*(9), 1–8. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78916-3

Cantalapiedra-hijar, G., Fanchone, A., Noziere, P., Lemosquet, S., Doreau, M., Marty, I. O., Cantalapiedra-hijar, G., Fanchone, A., Noziere, P., Peyraud, J., & Lemos-, S. (2012). *Efficacité d ´ utilisation de l ´ azote suite à une réduction des apports azotés dans les rations des vaches laitières : effet de la nature de l ´ énergie*. *1*, 1–2. https://hal.science/hal-01210366

Carjot. (2013). *Etude de la corrélation entre l'efficacité alimentaire et l'analyse des résidus de bouses chez les vaches laitières nourries avec une ration totale mélangée*. Univesité Claude-Bernard - Lyon I.

Carlsson, J., Bergström, J., & Pehrson, B. (1995). Variations with Breed, Age, Season, Yield, Stage of Lactation and Herd in the Concentration of Urea in Bulk Milk and Individual Cow's Milk. *Acta Veterinaria Scandinavica*, *36*(2), 1–10. https://doi.org/10.1186/BF03547693

Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., Barbi, J. H., Sutton, J. D., Kirby, H. C., & France, J. (2001). The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science*, *79*(1), 1–7. https://doi.org/10.2527/2001.791240x

Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., & France, J. (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *9*(1), 1–5. https://doi.org/10.22358/jafs/68025/2000

Chapaux, P., Knapp, E., Ngiyimbere, S., Gacoreke, S., Manyange, H., Bertozzi, C., & Hornick, J. L. (2012). Reproduction et production laitière de bovins sélectionnés ou de races locales au Burundi. *Rencontres Autour Des Recherches Sur Les Ruminants*, *19*(1), 1.

Chase, L. E. (2011). Maintaining Milk Yield while Lowering Dietary Protein Content. *Western Canadian Dairy Seminar*, *23*, 1–12. http://www.wcds.ca/proc/2011/Manuscripts/Chase.pdf

Chilliard, Y. (1993). Dietary Fat and Adipose Tissue Metabolism in Ruminants, Pigs, and Rodents: A Review. *Journal of Dairy Science*, *76*(12), 1–35. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77730-9

Colmenero, J. J. O., & Broderick, G. A. (2006). Effect of amount and ruminal degradability of soybean meal protein on performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*(5), 1–9. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72230-5

Cristina, B., Cornelia, P., Stefanovic, M., Ioan, P., & Diana, M. (2014). Study on the factors influencing cow milk production in dairy cows. *Lucrari Stiintifice Seria I*, *16*(2), 1–4.

Cutullic, E., Delaby, L., Edouard, N., Faverdin, P., Cutullic, E., Delaby, L., Edouard, N., & Faverdin, P. (2013). Rôle de l ' équilibre en azote dégradable et de l ' alimentation protéique individualisée sur l ' efficience d ' utilisation de l ' azote Influence of rumen degradable protein balance and individual protein feeding on nitrogen use efficiency. *Rencontre, Recherche, Ruminants*, 1–5.

Cuvelier, C., & Dufrasne, I. (2015). *L'alimentation de la vache laitière : Aliments, calculs de ration, indicateurs d' évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d' origine nutritionnelle* (pp. 1–109). Université de Liège. fourragesmieux.be

Debry, G. (2001). *Lait, nutrition et santé* (Gérard Debry (ed.); Tec et Doc).

DePeters, E. J., & Cant, J. P. (1992). Nutritional Factors Influencing the Nitrogen Composition of Bovine Milk: A Review. *Journal of Dairy Science*, *75*(8), 1–28. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77964-8

Faverdin, P., M'Hamed, D., Rico-Gómez, M., & Vérité, R. (2003). La nutrition azotée influence l'ingestion chez la vache laitière. *Productions Animales*, *16*(1), 1–12. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2003.16.1.3642

Forsbäck, L., Lindmark-Månsson, H., Andrén, A., Åkerstedt, M., Andrée, L., & Svennersten-Sjaunja, K. (2010). Day-to-day variation in milk yield and milk composition at the udder-quarter level. *Journal of Dairy Science*, *93*(8), 1–9. https://doi.org/10.3168/jds.2009-3015

Galloway, J. N. (1998). The global nitrogen cycle : changes and consequences. *Environmental Pollution*, *102*(S1), 1–10.

Garg, M. R., Sherasia, P. L., Bhanderi, B. M., Phondba, B. T., Shelke, S. K., & Makkar, H. P. S. (2013). Effects of feeding nutritionally balanced rations on animal productivity, feed conversion efficiency, feed nitrogen use efficiency, rumen microbial protein supply, parasitic load, immunity and enteric methane emissions of milking animals under field condi. *Animal Feed Science and Technology*, *179*(1–4), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.11.005

Garnett, T., & Godfray, C. (2012). *Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities, Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food*.

Geerts, N. E., De Brabander, D. L., Vanacker, J. M., De Boever, J. L., & Botterman, S. M. (2004). Milk urea concentration as affected by complete diet feeding and protein balance in the rumen of dairy cattle. *Livestock Production Science*, *85*(2–3), 1–11. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00126-X

Godinot, O., Foray, S., Lemosquet, S., Delaby, L., & Edouard, N. (2022). De l ' animal au territoire , regards sur l ' efficience de l ' azote dans les systèmes bovins laitiers. *INRAE Productions Animales*, *35*(1), 1–18. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.1.5498

Hatungumukama, G., Leroy, P., & Detilleux, J. (2008). Effects of non-genetic factors on daily milk yield of Friesian cows in Mahwa station (South Burundi). *Ressources Animales*, *61*(1), 1–5.

Heuzé, V., Tran, G., Sauvant, D., & Lebas, F. (2017). *Brewers grains. Feedipedia, a programme by INRAE*. CIRAD, AFZ and FAO. https://feedipedia.org/node/74

Horacio et al. (2017). Dairy Cow Nitrogen Efficiency. *Science for Sustainable Production*, 1–9.

Hristov, A. N., Price, W. J., & Shafii, B. (2004). A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *87*(7), 1–13. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70039-9

Huhtanen, P., & Hristov, A. N. (2009). A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk n efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *92*(7), 1–11. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1352

Huhtanen, P., Nousiainen, J. I., Rinne, M., Kytölä, K., & Khalili, H. (2008). Utilization and partition of dietary nitrogen in dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, *91*(9), 1–11. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1181

Hutjens et Chase, L. E. (2007). *Interpreting Milk Urea Nitrogen (MUN) Values*.

Hutjens, M. F. (2005). Dairy Efficiency and Dry Matter Intake. In Michael F. Hutjens (Ed.), *7th Western Dairy Management Conference* (pp. 1–6). http://www.wdmc.org/2005/8Hutjens.pdf

Hutson, J. L., Pitt, R. E., Koekch, R. K., House, J. B., & Wagenet, R. J. (2013). *Improving Dairy Farm Sustainability 11 : Environmental Losses and Nutrient Flows*. *11*(2), 1–9.

INRA. (2007). *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments. Tables INRA 2007* (Quae). Jittakhof.

INRA. (2010). *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments. Besoins des animaux – Valeurs des aliments* (10; Quae, 78026 Versailles Cedex). www.quae.com

Ipharraguerre, I. R., & Clark, J. H. (2005). Varying protein and starch in the diet of dairy cows. II. Effects on performance and nitrogen utilization for milk production. *Journal of Dairy Science*, *88*(7), 1–15. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72932-5

ISABU. (2014). *Recherche Agronomique : Amont de l'Agriculture et de l'Elevage au Burundi. Bulletin De La Recherche Agronomique Au Burundi N°2*.

Jonker, J. S., Kohn, R. A., & Erdman, R. A. (1998). Using Milk Urea Nitrogen to Predict Nitrogen Excretion and Utilization Efficiency in Lactating Dairy Cows 1. *Journal of Dairy Science*, *81*(10), 1–12. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75825-4

Jonker, J. S., Kohn, R. A., & Erdman, R. A. (1999). Milk urea nitrogen target concentrations for lactating dairy cows fed according to National Research Council recommendations. *Journal of Dairy Science*, *82*(6), 1–13. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75349-X

Jonker, J. S., Kohn, R. A., & High, J. (2002). Use of milk urea nitrogen to improve dairy cow diets. *Journal of Dairy Science*, *85*(4), 1–8. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74152-0

Jonker, J. S., Kohn, R. A., & Hight, J. et al. (2002). Dairy Herd Management Practices that Impact Nitrogen Utilization Efficiency 1. *Journal of Dairy Science*, *85*(5), 1–9. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74185-4

Kaouche-Adjlane, S. (2019). Facteurs de variation qualitative et quantitative de la production laitière Revue Bibliographique. *Revue Agriculture*, *10*(1), 1–12.

Kehoe, S. I., Jayarao, B. M., & Heinrichs, A. J. (2007). A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *Journal of Dairy Science*, *90*(9), 1–9. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0040

Kohn, R. A., & Dinneen, M. M. and E. R.-C. (2018). *Kohn, R. A., Dinneen, M. M., & Russek-Cohen, E. (2005). Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats.pdf*. *July*, 1–11.

Kohn, R. A., Kalscheur, K. F., & Russek-Cohen, E. (2002). Evaluation of Models to Estimate Urinary Nitrogen and Expected Milk Urea Nitrogen. *Journal of Dairy Science*, *85*(1), 1–7. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74071-X

Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J., & Buckmaster, D. R. (2003). Modification of the Penn State Forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science*, *86*(5), 1–6. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73773-4

Lapierre, H., Ouellet, D. R., Fournier, A., & Pellerin, D. (2014). Comment maximiser l'utilisation de l'azote des vaches laitières : répercussions environnementales et monétaires. *Symposium Sur Les Bovins Laitiers 2014*, *1*, 1–19.

Makkar, H. P. S., & Beever, D. (2012). Optimization of feed use efficiency in ruminant production systems. In Harinder P.S. Makkar and David Beever (Ed.), *Proceedings of the FAO Symposium, 27 November 2012, Bangkok, Thailand.* (Issue November, pp. 1–121). FAO and Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. http://www.fao.org/3/a-i3331e.pdf

Meschy, F. (2007). Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : Actualisation des connaissances. *Productions Animales*, *20*(2), 1–10. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2007.20.2.3444

Meyer, C., & Denis, J.-P. (1999). *Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Edition CIRAD envt, Paris. Livre disponible sur Google Books.*

Monteils, V. (2002). *Distrubution de l 'azote entre le lait , les fèces et l 'urine chez la vache laitière alimentée aves des rations déficitaires en azote fermentescible*. Institut National Polytechnique de Lorraine.

Munyaneza, N. (2019). *Importance de l'urée du lait comme indicateur de l'efficience du métabolisme azoté des vaches laitières Holstein et son utilisation pour améliorer les programmes alimentaires à l'échelle de la région Marrakech-Safi*. Université Cadi Ayyad.

Murphy, J. J., & O'mara, F. (1993). Nutritional modification of milk protein concentration and its impact on the dairy. *Industry, Livest. Prod. Sci*, *35*, 1–18.

Nabila, B. (2010). *Effets des facteurs d'elevage sur la production et la Qualité du lait de vache en régions montagneuses. Mémoire en vue d'obtention du diplôme de Magister en Alimentation animale et produits animaux.* Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Nadeau, E., Englund, J. E., & Gustafsson, A. H. (2007). Nitrogen efficiency of dairy cows as affected by diet and milk yield. *Livestock Science*, *111*(1–2), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.11.016

Nations Unies. (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision*.

Nebel, R. L., & McGilliard, M. L. (1993). Interactions of High Milk Yield and Reproductive Performance in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *76*(10), 3257–3268. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77662-6

Nennich, T. D., Harrison, J. H., VanWieringen, L. M., Meyer, D., Heinrichs, A. J., Weiss, W. P., St-Pierre, N. R., Kincaid, R. L., Davidson, D. L., & Block, E. (2005). Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *88*(10), 1–13.

https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73058-7

Ng-Kwai-Hang, K. F., Hayes, J. F., Moxley, J. E., & Monardes, H. G. (1984). Variability of Test-Day Milk Production and Composition and Relation of Somatic Cell Counts with Yield and Compositional Changes of Bovine Milk. *Journal of Dairy Science*, *67*(2), 361–366. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81309-0

Ng-Kwai-Hang, K. F., Hayes, J. F., Moxley, J. E., & Monardes, H. G. (1985). Percentages of Protein and Nonprotein Nitrogen with Varying Fat and Somatic Cells in Bovine Milk. *Journal of Dairy Science*, *68*(5), 1257–1262. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80954-1

Nocek, J. E., & Russell, J. B. (1988). Protein and Energy as an Integrated System. Relationship of Ruminal Protein and Carbohydrate Availability to Microbial Synthesis and Milk Production. *Journal of Dairy Science*, *71*(8), 1–38. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79782-9

Nousiainen, J., Shingfield, K. J., & Huhtanen, P. (2004). Evaluation of Milk Urea Nitrogen as a Diagnostic of Protein Feeding. *Journal of Dairy Science*, *87*(2), 1–13. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73178-1

Oenema, O., De Klein, C., & Alfaro, M. (2014). Intensification of grassland and forage use: Driving forces and constraints. *Crop and Pasture Science*, *65*(6), 1–14. https://doi.org/10.1071/CP14001

Okukenu, O. A., Olajide, A. A., Dele, P. A., Wheto, M., Akinyemi, B. T., & Jolaosho, A. O. (2021). *Nutritional characteristics of nine Pennisetum purpureum varieties as affected by manure type in Southwest Nigeria*. 1–7. https://doi.org/10.2478/ats-2021-0022

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*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/0301-6226(85)90039-9

Oltner, R., & Wiktorsson, H. (1983). Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Livestock Production Science*, *10*(5), 1–11. https://doi.org/10.1016/0301-6226(83)90073-8

Pacheco, L. F. (2016). *Relations entre la composition du lait et les facteurs alimentaires dans les troupeaux laitiers québécois*. Université Laval.

Pacheco, Patton, R. A., Parys, C., & Lapierre, H. (2012). Ability of commercially available dairy ration programs to predict duodenal flows of protein and essential amino acids in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *95*(2), 1–27. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4171

Peyraud et Delaby, L. (1995). Rejets azotés chez la vache laitière: effets du type d'alimentation et du niveau de production des animaux. *Fourrages*, *142*, 1–14.

Rajala-Schultz, P. J., & Saville, W. J. A. (2003). Sources of variation in milk urea nitrogen in Ohio dairy herds. *Journal of Dairy Science*, *86*(5), 1–9. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73751-5

Rombach, M., AGRIDEA, Denninger, T., & Swissherdbook. (2023). *La nouvelle interprétation des données du contrôle laitier Contexte , interprétation et adaptation du management du troupeau*. 1–12. www.agridea.ch

Ryan, W., Hennessy, D., Murphy, J. J., Boland, T. M., & Shalloo, L. (2011). A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems. *Journal of Dairy Science*, *94*(2), 1–13. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3294

Rzewuska, K., & Strabel, T. (2013). Genetic parameters for milk urea concentration and milk traits in Polish Holstein-Friesian cows. *Journal of Applied Genetics*, *54*(4), 1–10. https://doi.org/10.1007/s13353-013-0159-8

Sairanen, A., Khalili, H., Nousiainen, J. I., Ahvenjärvi, S., & Huhtanen, P. (2005). The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *Journal of Dairy Science*, *88*(4), 1–11. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72812-5

Schepers, A. J., & Meijer, R. G. M. (1998). Evaluation of the Utilization of Dietary Nitrogen by Dairy Cows Based on Urea Concentration in Milk. *Journal of Dairy Science*, *81*(2), 1–5. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75611-5

Schutz, M. M., Hansen, L. B., Steuernagel, G. R., & Kuck, A. L. (1990). Variation of Milk, Fat, Protein, and Somatic Cells for Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, *73*(2), 1–10. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78696-1

Schwab, C. G., Huhtanen, P., Hunt, C. W., & Hvelplund, T. (2005). Nitrogen requirements of cattle. *CAB International 2005. Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle*, 1–58. https://doi.org/10.1079/9780851990132.0013

Spek, J. W. (2013). Variation of milk urea in dairy cattle : a study on factors that affect the relationship between urea concentration in milk and urea excretion in urine. In *Wageningen University*. http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/442617

Spek, J. W., Duinkerken, G. Van, Dijkstra, J., & Bannink, A. (2013). A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *Journal of Agricultural Science*, *151*(3), 1–18. https://doi.org/10.1017/S0021859612000561

Stott, K. J., & Gourley, C. J. P. (2016). Intensification, nitrogen use and recovery in grazing-based dairy systems. *Agricultural Systems*, *144*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.01.003

Tamminga, S. (1992). Nutrition Management of Dairy Cows as a Contribution to Pollution Control. *Journal of Dairy Science*, *75*(1), 1–13. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77770-4

Toni, F., Vincenti, L., Grigoletto, L., Ricci, A., & Schukken, Y. H. (2011). Early lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival. *Journal of Dairy Science*, *94*(4), 1–12. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3389

Trevaskis, L. M., & Fulkerson, W. J. (1999). The relationship between various animal and management factors and milk urea, and its association with reproductive performance of dairy cows grazing pasture. *Livestock Production Science*, *57*(3), 1–11. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00174-2

Triola, M. M., & Triola, M. F. (2012). *Biostatistique pour les sciences de la vie et de la santé* (1ère Editi). Pearson Education France.

Varga, G. A. (2007). Why Use Metabolizable Protein for Ration Balancing ? *Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop*, 1–7.

Vérité, R., & Delaby, L. (2000). Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Animal Research*, *49*(3), 1–14. https://doi.org/10.1051/animres:2000101

Wang, S. J., Fox, D. G., Cherney, D. J. R., Chase, L. E., & Tedeschi, L. O. (2000). Whole-herd optimization with the cornell net carbohydrate and protein system. III. Application of an optimization model to evaluate alternatives to reduce nitrogen and phosphorus mass balance. *Journal of Dairy Science*, *83*(9), 1–10. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75099-5

Wattiaux, M. A., & Karg, K. L. (2004). Protein Level for Alfalfa and Corn Silage-Based Diets : II . Nitrogen Balance and Manure Characteristics. *Journal of Dairy Science*, *87*(10), 1–11. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73484-0

Wattiaux, M. A., & Ranathunga, S. D. (2016). *Milk Urea Nitrogen as a Tool to Assess Effi ciency of Nitrogen Utilization in Dairy Cows*. 1–10.

Weiss, W. P., & Pinos-Rodríguez, J. M. (2009). Production responses of dairy cows when fed supplemental fat in low-and high-forage diets. *Journal of Dairy Science*, *92*(12), 1–12. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2558

Wood, G. M., Boettcher, P. J., Jamrozik, J., Jansen, G. B., & Kelton, D. F. (2003). Estimation of genetic parameters for concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, *86*(7), 1–8. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73840-5

Zebeli, Q., Aschenbach, J. R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B. N., & Drochner, W. (2012). Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *95*(3), 1–16. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421

ANNEXES

Estimation du modèle linéaire multiple des facteurs influençant l'efficacité de l'utilisation de l'azote

Après avoir effectué les tests, nous avons retenu le modèle suivant :

Coefficients[a]

Modèle		Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés			Intervalle de confiance à 95,0% pour B	
		B	Erreur standard	Bêta	t	Sig.	Borne inférieure	Borne supérieure
1	(Constante)	20,348	1,074		18,943	,000	18,157	22,538
	Poids (Kg)	,008	,002	,235	3,583	,001	,003	,012
	NU (g/J)	-,086	,008	-,790	-10,566	,000	-,102	-,069
	N lait (g/J)	,178	,004	1,246	47,137	,000	,171	,186

a. Variable dépendante : EUN %

Récapitulatif des modèles[b]

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Modifier les statistiques Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F
1	,998[a]	,995	,995	,16369	,995	2226,100	3	31	,000

a. Prédicteurs : (Constante), N lait (g/J), Poids (Kg), NU (g/J) b. Variable dépendante : EUN %

L'équation mathématique du modèle est la suivante :

EUN (%) = 20,348 + 0.008* Poids (Kg) – 0.086* NU (g/J) + 0.178* N du lait produite (g/J). Le test de significativité global du modèle montre que le modèle est globalement bon parce que 99% (**R2=0,995**) de la variabilité de l'efficience de l'utilisation de l'azote est expliquée par les variables étudiées et la probabilité critique de F est inférieure à 0.001. Seul 1% est expliqué par d'autres facteurs.

Estimation du modèle linéaire multiple des facteurs influençant l'azote urinaire

Après avoir effectué les tests, nous avons retenu le modèle suivant :

Coefficients[a]

Modèle		Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés			Intervalle de confiance à 95,0% pour B	
		B	Erreur standard	Bêta	t	Sig.	Borne inférieure	Borne supérieure
1	(Constante)	114,799	,026		4340,762	,000	114,745	114,853
	Ni total (g/J)	,300	,000	1,000	6751,130	,000	,300	,300
	N lait (g/J)	,001	,000	,001	2,817	,008	,000	,002
	EUN %	-,007	,003	-,001	-2,687	,011	-,012	-,002

a. Variable dépendante : NU (g/J)

Récapitulatif des modèles[b]

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Erreur standard de l'estimation	Modifier les statistiques Variation de R-deux	Variation de F	ddl1	ddl2	Sig. Variation de F
1	1,000[a]	1,000	1,000	,00302	1,000	837240530,11	2	32	,000

a. Prédicteurs : (Constante), N lait (g/J), Poids (Kg), NU (g/J) b. Variable dépendante : EUN %

L'équation mathématique du modèle est la suivante :

N urinaire (g/J) = 114,799 + 0,3*N ingéré total + 0,001*N du lait – 0,007*% EUN.

La significativité globale du modèle montre que le modèle est globalement bon parce que la variabilité de l'azote éliminé dans les urines est totalement expliquée par les variables étudiées (**R2= 1,000**) et la probabilité critique de F est inférieure à 0.001.

Analyse de la variance

Le tableau suivant montre la variance des moyennes entre les variables de l'étude.

ANOVA						
		Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Poids (Kg)	Intergroupes	31460,344	3	10486,781	2,435	,084
	Intragroupes	133523,542	31	4307,211		
	Total	164983,886	34			
Qté de lait produite (Kg/J)	Intergroupes	5,442	3	1,814	,174	,913
	Intragroupes	323,619	31	10,439		
	Total	329,061	34			
Ni total (g/J)	Intergroupes	23136,559	3	7712,186	1,625	,204
	Intragroupes	147113,473	31	4745,596		
	Total	170250,032	34			
EUN %	Intergroupes	15,777	3	5,259	,994	,408
	Intragroupes	163,986	31	5,290		
	Total	179,763	34			
NU (g/J)	Intergroupes	1056,820	3	352,273	,089	,965
	Intragroupes	122526,421	31	3952,465		
	Total	123583,241	34			
Prot lait (%)	Intergroupes	,660	3	,220	1,880	,153
	Intragroupes	3,626	31	,117		
	Total	4,286	34			

Source : Calcul de l'Auteur (Résultats de SPSS.20 sur base des données)

Pour l'ensemble des variables comme le coefficient de significativité est supérieur à 0.05, on ne rejette pas l'hypothèse nulle qui stipule que le stade de lactation a un effet significatif sur les variables étudiées.

Donc nous retenons que le stade de lactation n'a pas d'effet significatif sur l'efficacité de l'utilisation de l'azote et sur la quantité d'azote excrété dans l'urine.