



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production et Nutrition Animale

Présenté par :

HANICHE Abdelali & MIHOUBI Abderrahmane

Thème

Effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production laitière chez la vache : méta-analyse

Dépôt le: 04 /07 /2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

M MENZER Nouredine

MCB

Univ. Bouira

Président

M ABDELLI Amine

MCA

Univ. Bouira

Promoteur

M SALHI Omar

MCA

Univ. Blidal

Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant, de m'avoir guidé vers la science et le savoir et de m'avoir donné courage et volonté pour élaborer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer le témoignage de toute ma gratitude et mes remerciements :

A Monsieur ABDELLI Amine,

Docteur à l'université de bouira

Pour avoir accepté de diriger et guider ce travail

Pour l'aide, les conseils et les encouragements qu'il m'a prodigués ;

Pour la rigueur et la rapidité de ses corrections

Mon respect et mes chaleureux remerciements

Je tiens à remercier les membres du jury :

Monsieur le Dr MENZER Nourddine., qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Dr SALHI Omar., qui a accepté de juger ce travail.

Comme je tiens à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

L'expression de ma reconnaissance

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tout puissant, ce travail fut accompli et je le dédie à:

A mon très cher père qui est à l'origine de ce qui je suis.

A ma très chère mère qui s'est toujours sacrifiée pour mon éducation, qui m'a entourée de son amour et de son affection, je la remercie et je n'oublierai jamais son soutien moral dans les moments les plus difficiles, que dieu la protège.

A mes chers frères Abderrahmane et Amine et a toute la famille Haniche et Bouamra.

A tous mes amis: Salah, Mohamed, Yacine, Oussama, Aymen, Houssam, Didou, Zouheir, Okba....

A mon binome Abderrahmane et sa famille.

A tous nos enseignants.

A toute la promotion de Production et nutrition animale 2021-2022 à l'université de bouira.

A tous ceux qui ont croisé de près ou de loin mon chemin et qui m'ont permis d'arriver là où je suis.



Abdelali

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tout puissant, ce travail fut accompli et je le dédie à :

A mon très cher père qui est à l'origine de ce qui je suis.

A ma chère mère qui s'est toujours sacrifiée pour mon éducation, qui m'a entourée de son amour et de son affection, je la remercie et je n'oublierai jamais son soutien moral dans les moments les plus difficiles, que Dieu la protège.

A mes chères soeurs,

A mes et à toute la famille MIHOUBI, HANICHE.

A tous mes amis : Abdelali, Oussama, Salah, aymen, ,Taher Ishak, Fateh, Mostapha, Imad, Mehdi, Bobakeur, Hani, Marwane, dido, housseem...

A toute la promo MASTER 2 de production et nutrition animale 2022 à l'université de BOUIRA.

A tous ceux qui ont croisé de près ou de loin mon chemin et qui m'ont permis d'arriver là où je suis.



Abderrahmane

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à connaître l'effet de substitution de tourteau de soja (TS) par le tourteau de colza (TC). Une méta-analyse a été, en effet, conduite sur 12 articles étudiant l'effet de la substitution de TS par le TC sur les performances de production chez la vache laitière. Les résultats de cette méta-analyse nous montrent des effets positifs de la substitution de TS par TC sur la production laitière (+0.68 kg/j), matières grasses (+33.92 g/kg/j) et matières protéiques (+29.22 g/Kg/j) sans aucun effet sur la matière sèche ingérée (MSI). Il est clair que ces améliorations sont dues à une meilleure valorisation de la ration en présence de TC plutôt qu'à une augmentation de la MSI. Ces améliorations des performances de production ont été observées en milieu de lactation plutôt qu'au début de lactation.

Mots clés : vache laitière, tourteau colza, tourteau soja, production laitière, méta-analyse

Abstract

The objective of this work is to know the effect of substitution of soybean meal (TS) by canola meal (TC). A meta-analysis was conducted on 12 articles studying the effect of substituting soybean meal for canola meal on the production performance of dairy cows. The results of this meta-analysis show positive effects of TS substitution by TC on milk production (+0.68 kg/d), fat (+33.92 g/kg/d) and protein (+29.22 g/Kg/d) without any effect on dry matter intake (DMI). It is clear that these improvements are due to a better valorization of the ration in the presence of TC rather than an increase in DMI. These improvements in production performance were observed in mid-lactation rather than early lactation.

Key words: dairy cow, canola meal, soybean meal, milk production, meta-analysis

ملخص

الهدف من هذا العمل هو معرفة تأثير استبدال بقايا فول الصويا (TS) ببقايا السلجم الزيتي (TC). تم إجراء تحليل تلوي على 12 مقالاً يدرس تأثير استبدال بقايا فول الصويا ببقايا السلجم الزيتي على الأداء الإنتاجي للأبقار الحلوب. تظهر نتائج هذا التحليل التلوي تأثيرات إيجابية لاستبدال بقايا فول الصويا ببقايا السلجم الزيتي. على إنتاج الحليب (+0.68 كجم / يوم) والدهون (+33.92 جم / كجم / يوم) والبروتين (+29.22 جم / كجم / يوم) دون أي تأثير على تناول المادة الجافة. من الواضح أن هذه التحسينات ترجع إلى تحسين قيمة الحصة الغذائية في وجود بقايا السلجم الزيتي بدلاً من زيادة تناول المادة الجافة. لوحظت هذه التحسينات في أداء الإنتاج في منتصف فترة الرضاعة بدلاً من الرضاعة المبكرة.

الكلمات المفتاحية: الأبقار الحلوب، بقايا فول الصويا، بقايا السلجم الزيتي، إنتاج الحليب، تحليل تلوي.

Liste des abréviations

AA : Acide aminé

ADF : Acide détergent fibre

ADL : Acide détergent lignine

AGV : acide gras volatil

Ca : calcium

CI : Capacité d'ingestion

CMV : complexe minéral vitaminé.

GMQ : gain de poids quotidien moyen

J : jour

Kg : kilogramme

L : litre

m² : mètre carré.

MAD : matière azotée digestible.

MAT : Matières Azotées Totales.

mod : modérateur introduit

MS : matière sèche.

MSI : matière sèche ingérée.

p : phosphore

DE : Digestibilité de l'énergie

DMO : Digestibilité de la matière organique

DR : Digestibilité réelle des acides aminés alimentaires dans l'intestin grêle

DT : Dégradabilité théorique des matières azotées totales de l'aliment dans le rumen

EB : Energie brute (Kcal/kg de Matière sèche)

ED : Energie métabolisable (en Kcal/kg de Matière sèche)

EM : énergie métabolisable

EN : Energie nette en Kcal/kg de Matière sèche

ENL : Energie nette de lactation en Kcal/kg de Matière sèche

MAD : Matières azotées digestibles

MAT : Matières azotées totales

MG : Matières grasse

MO : Matière organique

MOF : Matière organique fermentescible

NDF : fibres détergent neutre

VL : vache laitière

PDI : protéines digestibles dans l'intestin

PDIA : protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire

PDIE : protéines digestibles dans l'intestin permises par énergie.

PDIM : protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne

PDIN : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote.

PL : Production laitière

PM : Protéine métabolisable

PV : poids vif (kg)

TB : Taux butyreux

TC : Tourteau de colza

TP : Taux protéique

TS : Tourteau de soja

UE : Unité d'encombrement

UEB : Unité d'encombrement pour les bovins

UEL : Unité d'encombrement pour les vaches laitières

UEM : Unité d'encombrement pour les moutons

UF : Unité fourragère.

UFL : Unité fourragère lait

UFV : Unité fourragère viande

Liste des tableaux

Tableau 01 Composition chimique de graines de soja (Reouest,1921).....	04
Tableau 02 Concentration d'énergie, de Protéine et d'acides aminés dans les produits à base de soja Porcins (NRC,1998).....	06
Tableau 03 La composition du tourteau de tournesol (INRA, banque de données 2007).....	07
Tableau 04 La valeur alimentaire de tourteau de tournesol (INRA-CIRAD-AFZ, 2022).....	09
Tableau 05 Composition et valeurs nutritionnelles des tourteaux de colza (AOAC, 1990)....	11
Tableau 06 Composition et valeur nutritionnel de tourteau de colza (INRA-AFZ, 2004).....	13
Tableau 07 Besoins en eau de bovins selon le type d'animal et la période de production.....	18
Tableau 08 Rappel des principes de calcul de la valeur énergétique et azotée (Baumont et al., 1999).....	22
Tableau 09 Besoins d'entretien pour les vaches laitière de 600Kg (INRA, 1988)	27
Tableau 10 Besoins d'entretien de la vache laitière (étable entravée) en fonction de son poids vif (INRA, 1988).....	27
Tableau 11 Besoins de production (énergie et azote) en fonction du TB et TP (Sérieys, 1997).....	28
Tableau 12 Besoins quotidiens en minéraux de la vache laitière (Meyer et Denis (1999).....	28
Tableau 13 Besoins de gestation de la vache laitière (au-dessus de l'entretien) pour un veau pesant 40kg à la naissance (INRA, 1988).....	30
Tableau 14 Tableau récapitulatif des études collectées dans la méta-analyse	40
Tableau 15 méta-analyse de l'effet de la substitution des TS par le TC sur la production laitière chez les vaches.....	41
Tableau 16 Méta-régression de l'effet de stade de lactation sur la différence de production laitière entre le TS et TC.....	44

Liste des figures

Figure 01 la composition chimique du tourteau de tournesol(Terres univia, 2022).....	08
Figure 02 Schéma simplifié de la digestion des glucides, des lipides et des matières azotées chez le ruminant (Cuvelier et Dufrance 2011).....	26
Figure 03 Relation entre l'apport en protéine métabolisable PM (g/j) et les rendements en protéines du lait (g/j)(Lapierre et al. 2012).....	32
Figure 04 Mécanismes d'action des protéines dans la régulation de l'ingestion(INRA 2003).....	33
Figure 05 Graphe en entonnoir de la méta-régression de l'association entre le stade de lactation et l'effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production.....	45
Figure 06 Graphe forestier de la méta-régression de l'association entre le stade de lactation et l'effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production....	45

TABLE DES MATIERES

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Sommaire

Titre	page
Introduction	01

Partie bibliographique

Chapitre 01 : Alternatives protéines en alimentation de la vache laitière

1-1-Le Tourteau de Soja	04
1-1-1-Composition chimique	04
1-1-2- Digestibilité	05
1-1-3- Valeur énergétique	05
1-1-4- Valeurs protéiques	06
1-2-Les tourteaux de tournesol	07
1-2-1-La composition chimique	07
1-2-2-La digestibilité.....	08
1-2-3-La valeur protéique	08
1-2-4-La valeur énergétique	09
1-3-Le Tourteau de Colza	10
1-3-1-Composition chimique	10
1-3-2-La digestibilité de tourteaux de colza	11
1-3-3-La valeurs protéiques.....	12
1-3-4-La valeur énergétique de tourteaux de colza	12

Chapitre 2 : Alimentation de la vache laitière

2-1- Introduction.....	15
2-2- Besoins nutritionnels de la vache.....	15
2-2-1- Définition	15
2-2-2- Nature des besoins	16
2-2-2-1- Besoins en énergie	16
2-2-2-2- Besoins en matières azotées	16
2-2-2-3- Besoins en minéraux et vitamines	17
2-2-2-4- Besoin en Eau.....	18
2-2-2-5- Besoins en Fibres	19
2-2-3- Capacité d'ingestion (CI)	19
2-3- Valeur nutritifs des aliments	19
2-3-1- Valeurs énergétiques	20
2-3-2- Valeur azotée	21
2-3-3- Equilibre PDIN-PDIE	21
2-3-4- Valeur d'encombrement.....	23
2-4- Ingestibilité et digestibilité des fourrages	23
2-5- La digestion des aliments chez le ruminant	24
2-5-1- Anatomie et physiologie digestive des ruminants	24
2-5-2- La digestion des aliments	24
2-5-2-1-La digestion des glucides	25
2-5-2-2-La digestion des lipides.....	25
2-5-2-3-La digestion des matières azotées	25
2-6 - Les besoins de la vache laitière.....	26
2-6-1- Les besoins d'entretien	26
2-6-2 -Besoins de production.....	27
2-6-3 - Besoins de croissance et de reconstitution des réserves corporelles	29
2-6-4 - Les besoins de gestation	29

Chapitre 3 : Effet alimentation protéique sur la production laitière

3-1-Effet de l'apport protéique sur la production de lait.....	32
3-2-Effet de l'alimentation protéique sur l'ingestion chez la vache laitière.....	32
3-3-L'effet de l'alimentation protéique sur le taux protéique.....	33

3-4-Impact de l'alimentation protéique sur la matière grasse	34
3-5-Effet de l'utilisation du tourteau de colza sur la production laitière.....	34
3-6-Effet de tourteau de soja sur la production laitière	35

PARTIE PRATIQUE

1-Contexte du travail.....	37
2-Matériels et Méthodes	37
2-1-Recherche bibliographique.....	37
2-2- Sélection d'études.....	38
2-3- Extraction de données.....	38
2-4- Analyses statistiques	38
3-Résultats.....	41
3-1-Effet sur la Matière Sèche Ingérée (kg/j).....	42
3-2- Effet sur la Production laitière (Kg/j).....	42
3-3-Effet sur l'ECM (Kg/j).....	42
3-4- Effet sur la Matière Grass (g/Kg).....	43
3-5-Effet sur la Matière Protéique (g/Kg).....	43
3-6-Effet sur Lactose (g/kg).....	43
3-7-Effet de stade de lactation sur la production laitière	44
4-Discussion.....	46
Conclusion.....	49
Recommandation	51
Références bibliographiques	53

INTRODUCTION

Introduction

En Algérie la promotion des productions animales à un niveau rationnel exige la disponibilité des facteurs de production et la maîtrise de l'alimentation. En effet, l'aliment et notamment l'aliment protéique s'avère un des principaux facteurs de production, indispensable pour assurer un bon niveau des performances d'élevage.

Actuellement, le prix de l'aliment industriel constitue une contrainte majeure en élevage du en Algérie. Ainsi, la quasi-totalité des matières premières protéiques particulièrement le tourteau de soja utilisée dans la formulation des aliments reste importée et est soumise aux variations des coûts sur le marché mondial en entravant le développement des productions animales locales.

La réussite de la culture de colza adopté par l'état Algérien afin de parvenir à l'autosuffisance en huile de table peut contribuer l'alimentation animale par l'utilisation de leurs sous-produits en apportant des solutions de substitution du tourteau de soja importé dans les rations des animaux d'élevage. Le tourteau de colza, en particulier, est riche en protéines et offre une qualité de protéines et un profil d'acides aminés proches de ceux du tourteau de soja.

De ce fait, le tourteau de colza peut être admis comme la meilleure alternative de tourteau de soja. D'après **Agreste (2014)**, le taux d'incorporation de tourteau de colza dans les aliments composés pour vaches laitières est estimé à 17 % versus 13,5 % pour le tourteau de soja. Ces taux étaient de 13 % et 13,5 % en 2006 selon la même source. Cette matière première, de plus en plus prisée des éleveurs laitiers en remplacement du tourteau de soja, présente des intérêts techniques, économiques et environnementaux (**Brunschwig et al, 1996**).

Cependant, il a été constaté, en 2012, un manque d'information quantifiée sur la qualité des produits transformés issus de lait produit avec du tourteau de colza. Certains producteurs de laits font état de moindre qualité laitière sans citer les critères affectés et d'une diminution de certaines propriétés (qualité de lait, rendement laitier).

Dans ce contexte, une méta-analyse a été conduite pour mesurer les effets du tourteau de colza incorporé dans l'alimentation des vaches laitières sur la production laitière et la composition du lait.

Partie Bibliographique

CHAPITRE 1
ALTERNATIVES PROTEINES EN
ALIMENTATION DE LA VACHE
LAITIERE

1-1- Le Tourteau de Soja

Le tourteau de soja en poudre est une farine oléagineuse, de qualité excellente, qui contient généralement de protéine et de matière grasse. On peut dire qu'il vient au premier rang de tous les produits végétaux riches en protéine employés pour l'alimentation des volailles. Le tourteau qui a été l'objet d'une cuisson assez complète au cours du traitement est le meilleur pour l'alimentation des volailles; on choisira donc de préférence un tourteau fait à haute température. On a constaté que ce tourteau riche en protéine peut remplacer une partie des farines animales qui coûtent plus cher. On sait également que l'huile de ce tourteau contient un facteur encore inconnu qui prévient une maladie du cerveau chez les poussins, maladie qui s'est produite dans certaines régions (**Jamesetal, 1947**).

1-1-1-Composition chimique

Le soja est reconnu comme une graine oléagineuse contenant plusieurs nutriments utiles dont le protéine, glucides, vitamines et minéraux. Le soja sec contient 36% de protéines, 19% d'huile, 35% de glucides (dont 17% de fibres alimentaires), 5% de minéraux et plusieurs autres composent comprenant des vitamines.

Tableau 01. Composition chimique de graines de soja **Reouest (1921)**.

Graine de soja	
Eau	10,00
Caséine soluble	30,00
Caséine insoluble	07,50
albumine	0,50
huile	18,00
Lécithine, cholisterine	2,00
Cire, recine	2,00
Dextrine	10,00
amidon	5,00
cellulose	5,00

1-1-2- Digestibilité

Les protéines de ce tourteau sont très digestibles. De plus, leur profil en acides aminés convient aux besoins des oiseaux en croissance et des femelles en ponte : richesse en lysine, tryptophane, isoleucine, valine, thréonine..., équilibre correct entre leucines d'une part et isoleucine et valine d'autre part. Il est cependant légèrement déficient en acides aminés soufrés.

Le tourteau de soja est pratiquement dépourvu d'amidon, mais renferme de grandes quantités d'hémicelluloses et de substances pectiques (chaînes d'acides galacturoniques et d'arabinogalactanes) non dégradées dans le tube digestif des oiseaux (**Barbier et al, 1992**).

1-1-3- Valeur énergétique

Il est au-delà de la portée de cette contribution de discuter d'autres aspects qu'AA et P ainsi que l'énergie fournie par les produits à base de soja, mais il est reconnu que les produits à base de soja fournissent également des quantités importantes de vitamines et de nombreux minéraux pour l'alimentation porcine. Les concentrations d'énergie, d'AA et de P dans le soja entier et dans le TS, SPC et SPI ont été publiées. La concentration de GE dans la farine de soja est relativement constante à travers les sources de farine de soja collectées à différents endroits. Cependant, la procédure de traitement utilisée pour produire le TS a un impact sur la quantité totale d'énergie dans le repas. Les repas pressés contiennent généralement plus d'énergie que les repas extraits au solvant car les repas pressés ont une plus grande concentration de matières grasses. De même, le TS décortiqué contient plus d'énergie que le TS non décortiqué en raison de la concentration plus faible de fibres (**H.Hanaset al, 2008**).

Tableau02. Concentration d'énergie, de Protéine et d'acides aminés dans les produits à base de soja Porcins (**NRC1998**)

article	Plat à base de soja		Complet gras de soja	Protéine de soja concentrer	Protéine de soja isoler
	Non décortiqué	Décortiqué			
Énergie, kcal DE / kg	3490	3,685	4 140	4 100	4 150
Énergie, kcal ME / kg	3180	3,380	3,690	3 500	3,560
Protéine brute %	43,8	47,5	35,2	64	85,8
Phosphore,%	0,65	0,69	0,59	0,81	0,65
Calcium,%	0,32	0,34	0,25	0,35	0,15
Acides aminés, %					
Arginine	3.23	3,48	2,60	5.79	6,87
Histidine	1.17	1,28	0,96	1,80	2,25
Isoleucine	1,99	2.16	1,61	3,30	4,25
Leucine	3,42	3,66	2,75	5.30	6,64
Lysine	2,83	3.02	2.22	4,20	5.26
Méthionine	0,61	0,67	0,53	0,90	1.01
Cystéine	0,70	0,74	0,55	1,00	1.19
Phénylalanine	2.18	2,39	1,83	3,40	4.34
Tyrosine	1,69	1,82	1,32	2,50	3.10
Thréonine	1,73	1,85	1,41	2,80	3.17
Tryptophane	0,61	0,65	0,48	0,90	1,08
Valine	2,06	2.27	1,68	3,40	4.21

1-1-4- Valeurs protéiques

La graine entière de soja est, par sa richesse en protéines, en huile et acides gras essentiels, une matière première qui pourrait être utilisée dans l'alimentation des volailles après élimination des facteurs antitrypsiques thermolabiles qui réduisent la disponibilité des protéines et acides aminés (**Lessire, et al 1988**).

Le TS mary utilisé dans les régimes de poulet de chair est TS décortiqué, extrait au solvant, qui contient ~ 48% de protéines. La protéine TS inférieure avec les coques, contenant 44–45% de protéines, peuvent également être utilisées; cependant, la croissance, en particulier l'alimentation sera plus efficace pour les poussins nourris avec du TS décortiqué. Complet gras le soja, grillé ou extrudé, est également une excellente source de protéines pour les poulets de chair. Les taux d'inclusion du soja entier peuvent dépendre de la forme physique sous laquelle ils sont nourris (**Hanaset al, 2008**).

1-2-Les tourteaux de tournesol

Le tourteau de tournesol est un coproduit d'extraction de l'huile à partir des graines de tournesol. Il est le 4ème tourteau le plus utilisé dans le monde après les tourteaux de soja, de colza et de coton. En France, il est fréquemment utilisé en alimentation animale pour sa teneur en protéines, notamment pour les ruminants. Toutefois, le terme générique "tourteau de tournesol" cache une diversité de matière première qu'il convient de bien caractériser pour bien le valoriser (Trou et Plouzin, 2007).

1-2-1-La composition chimique

Les graines de tournesol sont une source de matières premières recherchées par l'industrie pour l'alimentation humaine et animale et pour des applications non alimentaires. Toutefois, la composition des graines de tournesol est largement influencée par les facteurs génétiques et environnementaux. Notre démarche vise à caractériser les modes d'élaboration de constituants de la graine utiles pour les transformations industrielles par l'adaptation des conduites culturales et par le choix de génotypes (Rouche 2005).

Tableau 03. La composition du tourteau de tournesol (INRA, banque de données 2007)

%de produit brute	Tourteau de « pailleux »	Tourteau semi- décortique « argentine »	Hipro « argentine »
Matière sèche	89	90	90
Protéine brute	29	32	34
Cellulose brutes	24	22	19
Lignine	9,7	8,6	-
Matière minérales	6,3	6,9	7,6
Matière grasses	1,9	1,6	1,9

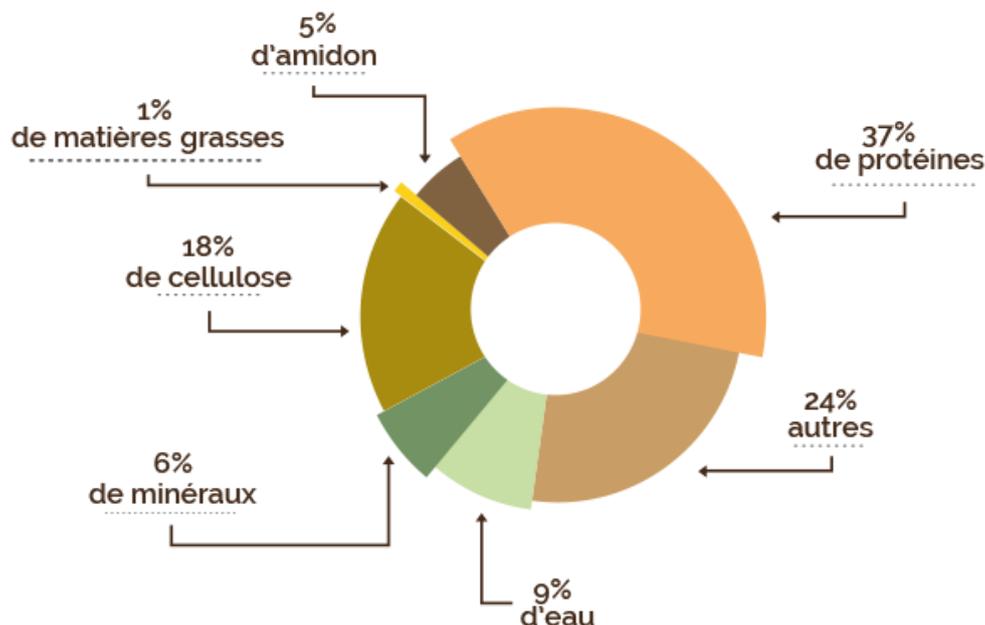


Figure 01 : la composition chimique du tourteau de tournesol (Terresunivia, 2022).

1-2-2-La digestibilité

La digestibilité in vivo de la MO des tourteaux de tournesol varie de 52 à 74% et est négativement corrélée à la teneur en fibres, les tourteaux décortiqués ont tendance à être plus digestes (environ 66%) que les non-décortiqués (61%). Les valeurs énergétiques vont de 0,63 UFL par kg MS pour du tourteau non décortiqué à 0,95 UFL par kg MS pour du tourteau totalement décortiqué (Economidesetal, 1998).

1-2-3-La valeur protéique

La protéine du tourteau de tournesol est plus dégradable que celle des autres tourteaux (Poncet et al. 2003). Les valeurs sont habituellement de l'ordre de 70 à 80%, bien que des valeurs plus faibles et des valeurs supérieures à 90% aient été rapportées. Chez les animaux nourris au tourteau de tournesol, l'ammoniac ruminal augmente rapidement dans les 4 heures après le repas, ce qui facilite la synthèse microbienne et la digestion de la MO (Shayo et al. 1997). Le traitement thermique ou le toastage augmente la proportion de protéines non dégradables (Anderson, 2002). Un traitement associant l'acide et la chaleur a pu réduire la

dégradabilité des protéines de 80% à 34-38% (Arroyo et al, 2005). Des enzymes fibrolytiques peuvent être utilisés dans la ration pour briser les fibres de tournesol, libérant ainsi plus d'énergie et de protéines (Titi, 2003).

1-2-4-La valeur énergétique

Le tourteau de tournesol a une valeur énergétique beaucoup plus faible que le tourteau de soja, la valeur de l'énergie nette d'un tourteau décortiqué à haute valeur protéique est d'environ 64% de celle d'un tourteau de soja à faible teneur en protéines (1 430 vs 2 220 kcal/kg MS respectivement). La gamme de variation de l'énergie d'un tourteau de tournesol est très large : dans une expérience comparant différents niveaux de décortilage, les estimations de l'énergie nette ont varié de 1 290 à 1 890 kcal/kg MS pour les procédés classiques et de 840 à 2 150 kcal/kg DM pour des tourteaux expérimentaux (Perez et al, 1986).

Tableau 04 : La valeur alimentaire de tourteau de tournesol (INRA-CIRAD-AFZ, 2022)

	Tourteau de tournesol gras (non décortiqué)	Tourteau de tournesol gras (décortiqué)
Matière sèche	92%	94%
Protéines brutes	24%	34%
Matières grasses	15%	9%
Energie brute	4900 kcal/kg	4690 kcal/kg
UFL	0,76 g/kg	0,88 g/kg
UFV	0,66 g/kg	0,8 g/kg
PDIN	153 g/kg	221 g/kg
PDIE	79 g/kg	118 g/kg
EM ruminant	2250 kcal /kg	2510 kcal /kg
EM poulet	1490 kcal/kg	1650 kcal/kg

1-3-Le Tourteau de Colza

Le traitement industriel des graines de colza laisse un sous-produit, le tourteau, qui représente plus de la moitié de la masse des graines et qui constitue une matière première intéressante pour la fabrication d'aliments pour le bétail. Il comprend en effet de 35 à 40% de protéines sur base de la matière sèche et a une teneur en matières grasses variable selon les méthodes d'extraction de l'huile : plus de 7% si l'extraction se fait par pression (tourteau de pression ou "schilfer") ou environ 2% si l'extraction est réalisée par solvant (tourteau de solvant ou "schroot"). Sur le plan alimentaire, le tourteau de colza présente divers avantages. Ses protéines ont une composition intéressante en acides aminés, notamment les acides aminés soufrés. Ses graines contiennent une proportion élevée d'acides gras insaturés et une teneur intéressante en divers minéraux (Ca, P, Mo) et en vitamines B. **(Mabon et al, 2000)**

1-3-1-Composition chimique

Le tourteau de colza est le coproduit de la trituration des graines de colza. C'est une source intéressante de protéines qui peut présenter un intérêt économique par rapport à ses concurrents protéiques. Pour 88,7% de MS, le tourteau de colza comprend 33,7% de protéines et 12,4 % de cellulose brute.

Le taux de matière grasse est de 2,3 %, alors que celui de la matière minérale est autour de 7,0 %. Le tourteau de colza est aussi riche en acides aminés indispensables. Les teneurs respectives en acides aminés soufrés, Lys, Trp, Thr, Phe, Val, Leu, Ile et His sont à l'ordre de 15,5 ; 18,0 ; 4,1 ; 14,5 ; 13,1 ; 17,0 ; 22,6 ; 13,6 et 8,8g/Kg. La digestibilité de ces acides aminés varie entre 78 et 91 % chez les volailles. La digestibilité des protéines est de 78 % chez les ruminants. L'énergie métabolisable pour les volailles est variable de 1600 à 1850 Kcal/Kg selon la teneur en matière grasse résiduelle. Pour les ruminants, elle est autour de 2380 Kcal/Kg. Les valeurs UFL et UFV sont respectivement de 0,85 et 0,80 par Kg. **(Belhadj slimen et Najjar, 2021).**

Tableau 05 : Composition et valeurs nutritionnelles des tourteaux de colza (AOAC, 1990).

Par rapport au poids brut	Tourteau de colza
Matière sèche (%)	88,7
Protéines brutes (%)	33,7
Cellulose brute (%)	12,4
Cellulose : ADF-ADL (%)	10,1
Hémicellulose : NDF-ADF (%)	8,7
Lignine : ADL (%)	9,5
Matières grasses (%)	2,3
Sucres solubles totaux (%)	7,7
Cendres brutes (%)	7
Calcium (g.kg-1)	8,3
Phosphore (g.kg-1)	11,4
Sodium (g.kg-1)	0,7
Potassium (g.kg-1)	12,5
Magnésium (g.kg-1)	4,5
Vitamine E (mg.kg-1)	14
Vitamine B1 (mg.kg-1)	3
Vitamine B2 (mg.kg-1)	4
Vitamine B6 (mg.kg-1)	11
Energie brute (kcal.kg-1)	4090
Energie métabolisable volaille (kcal.kg-1)	1500
Lysine (g.kg-1)	18 (Digestibilité : 78%)
Méthionine (g.kg-1)	6,9 (Digestibilité : 87%)
Thréonine (g.kg-1)	14,5 (Digestibilité : 84%)

1-3-2-La digestibilité de tourteaux de colza

La digestibilité des protéines brutes et de tous les acides aminés dans le tourteau de canola riche en protéines était égale ou supérieure à celle du tourteau de canola conventionnel, ce qui indique que la sélection pour la concentration élevée en protéines n'a pas influencé négativement la digestibilité des acides aminés. La valeur nutritive du tourteau de canola riche en protéines est donc supérieure à celle du tourteau de colza conventionnel, car la concentration accrue de protéines brutes et d'acides aminés entraîne une augmentation des concentrations d'acides aminés digestibles, que les porcs peuvent utiliser pour la synthèse des protéines. Cependant, bien que la concentration de protéines brutes dans le tourteau de colza riche en protéines soit proche de celle du tourteau de soja décortiqué, la concentration et la

digestibilité des acides aminés dans le tourteau de canola riche en protéines sont inférieures à celles du tourteau de soja décortiqué (**Stein, 2008**).

1-3-3-La valeurs protéiques

Le tourteau de colza moins riche en protéines (34 %) que le tourteau de soja (45 %), et a des valeurs protéiques (PDI) plus faibles. Par ailleurs, sa richesse en cellulose réduit sa valeur énergétique. Avec des concentrations en lysine et méthionine digestibles proches des seuils recommandés pour les vaches laitières, il permet d'atteindre facilement un équilibre en acides aminés dans la ration. Particulièrement riche en phosphore et bien pourvu en calcium, il permet d'économiser jusqu'à 50 % des minéraux par rapport à ceux nécessaires avec un aliment à base de tourteau de soja (**Arvalis, 2022**).

1-3-4-La valeur énergétique de tourteaux de colza

Les tourteaux de colza gras présentent des valeurs énergétiques très élevées puisqu'elles varient de 2119 kcal à 3721 kcal / kg MS. Ce dernier chiffre est à rapprocher de la valeur d'une graine présentée en farine : 3677 kcal et qui renferme 75 % de lipides en plus. Contrairement à une graine seulement broyée (**Sauvant et al, 2002**).

Selon (**Leclercq et al 1989**), Les valeurs des tourteaux de colza gras varient de 2161 à 3606 Kcal / kg MS pour les EMA et de 1848 à 3038 Kcal / kg MS pour les EMAn, ces valeurs dépendent de la teneur en lipides résiduels.

Tableau 06 : Composition et valeur nutritionnel de tourteau de colza (INRA-AFZ, 2004).

Exprimer par rapport à la matière brute	Tourteau de colza
Matière sèche (g/100g)	88,7
Protéine brute (g/100g)	33,7
Cellulose brute (g/100g)	12,4
Matière grasse (g/100g)	2,3
Lys digestible intestin (%PDIE)	6,8
Met digestible intestin (%PDIE)	2,0
Calcium (g/kg)	8,3
Phosphore (g/kg)	11,4
UFL (/kg)	0,85
UFV (/kg)	0,80
PDIA (g/kg)	92
PDIN (g/kg)	219
PDIE (g/kg)	138

CHAPITRE 2
ALIMENTATION DE LA VACHE
LAITIERE

2-1- Introduction

L'alimentation rationnelle de la vache laitière suppose d'abord de bien prendre en compte les particularités digestives du ruminant. Le système digestif des bovins présente la particularité d'être pourvu de 4 estomacs : 3 prés estomacs (rumen, réseau et feuillet) et un estomac proprement dit (la caillette). Cette configuration particulière permet au ruminant d'effectuer une prédigestion microbienne des aliments, facilitant une utilisation poussée des fibres présentes dans la ration (**Cuvelier et Dufrasne, 2005**).

2-2- Besoins nutritionnels de la vache

2-2-1- Définition

Les besoins des vaches laitières sont principalement de types énergétique et azoté et, sont organisés sous forme de besoins d'entretien et de production. Si les premières correspondant aux dépenses réalisées par l'animal pour répondre au fonctionnement de son métabolisme de base et de ses activités de mouvement sont influencées par son poids, les seconds signalés sont relatifs à la nature et le niveau de production de ce dernier (le GMQ pour la croissance et l'engraissement, le dernier tiers de gestation, la quantité et la richesse du lait produit). Ainsi, et pour de meilleures performances zootechniques, ces besoins alimentaires doivent être connus et raisonnablement couverts (**Institut de l'élevage, 2010**).

Selon (**Kadi, 2007**), les animaux doivent trouver dans leurs aliments les constituants permettant le renouvellement de la matière vivante, son accroissement éventuel (croissance, gestation) et la synthèse des productions.

Les quantités d'éléments nutritifs assimilables nécessaires à toutes ces activités définissent les besoins. Donc les besoins nutritionnels nets correspondent aux dépenses physiologiques de l'animal pour son entretien et ses productions ; dépenses que l'animal couvre à partir des nutriments qui lui sont apportés par la ration. Les besoins alimentaires incluent à la fois les besoins nutritifs et la capacité d'ingestion (CI).

2-2-2- Nature des besoins

De façon générale, il existe, deux type de besoins chez les animaux : les besoins d'entretien et les besoins de production (croissance, gestation, production de lait). L'état d'entretien et celui de production des vaches nécessitent non seulement des protéines et de l'énergie, mais également des minéraux et des vitamines (**Ba-Diao et al, 2006**).

2-2-2-1- Besoins en énergie

L'énergie utilisée par la vache est celle des nutriments absorbés par l'animal et celle provenant de l'utilisation des réserves. Ces besoins sont exprimés en unités fourragères lait (UFL) (**Meyer et Denis, 1999**).

Les besoins énergétiques des femelles laitières en gestation ou en lactation ont été calculés par la méthode factorielle en ajoutant les besoins correspondant à l'entretien, à la lactation, à la gestation et au gain de poids (constitution des réserves corporelles) (**Demarquilly et al, 1996**).

Pour une vache, en stabulation entravée, le besoin d'entretien varie avec le poids métabolique à raison de 0.041UFL/kg ($PV^{0.75}$), soit une augmentation marginale d'environ 0.006 UFL/kg PV. Ce besoin doit être augmenté de 10% en stabulation libre avec aire d'exercice et de 20% au pâturage (**Faverdin et al, 2007**).

Les besoins énergétiques liés à la production de lait observée sont fonction des quantités d'énergie exportées dans le lait (**Meyer et Denis, 1999**). En effet, pour déterminer les besoins de lactation d'une femelle, on doit calculer l'énergie du lait selon sa composition (**Jarrige, 1988**). Ces besoins sont souvent reportés à une composition standard du lait à 4% de matières grasses. Ils sont alors de 0.44 UFL/kg de lait (**Meyer et Denis, 1999**).

En ce qui concerne les besoins de gestation, ils peuvent être calculés à partir de la semaine de gestation et du poids prévisible du veau à la naissance. Ces besoins sont sur tout importants au cours des 3 derniers mois de gestation (**Faverdin et al, 2007**).

2-2-2-2- Besoins en matières azotées

Contrairement aux autres mammifères, les ruminants sont capables d'utiliser l'azote sous différentes formes :

Les plus classiques sont la forme protidique, protéines, polypeptides et acides aminés libres, ainsi que les bases azotées des acides nucléiques. Mais l'azote non protéique (amine, urée...) et les formes azotées simples sont également valorisables grâce à la flore microbienne du

rumen (**Cauty et Perreau, 2009**). L'animal renouvelle en permanence ses protéines corporelles et le processus de digestion provoquent des pertes cellulaires, donc de protéines. Ces fonctions sont minimales à l'entretien. Elles sont augmentées avec la production de lait, par le fonctionnement plus important d'un certain nombre d'organes d'une part, et par l'utilisation des acides aminés circulants pour la synthèse des protéines du lait d'autre part (**Denis et Meyer, 1999**).

On mesure les besoins protéiques sous forme de PDI (protéines digestibles dans l'intestin). Ces PDI se composent de deux fractions, une qui a échappé aux attaques microbiennes, ce sont les PDIA (protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire), et l'autre, la fraction azotée qui a été recombinaisonnée dans le rumen sous forme de protéines microbiennes : les PDIM. La production de ces dernières dépend de l'équilibre de la ration (**Cauty et Perreau, 2009**).

Pour un aliment donné, on appelle PDIMN la quantité potentielle de PDIM lorsque l'azote est limitant et PDIME la quantité potentielle de PDIM lorsque l'énergie est limitant.

On a donc les formules suivantes dont les résultats sont utiles pour le calcul des rations :

$$PDI = PDIA + PDIM$$

$$PDI = PDIA + PDIME = PDIE \text{ si l'énergie est le facteur limitant.}$$

$$PDI = PDIA + PDIMN = PDIN \text{ si l'azote est le facteur limitant (**Cauty et Perreau, 2009**)}$$

2-2-2-3- Besoins en minéraux et vitamines

L'entretien et la production des vaches nécessitent non seulement des protéines et de l'énergie, mais aussi des minéraux et des vitamines. Les minéraux et les vitamines ne posent pas de problèmes si l'alimentation est assez bien équilibrée (contenant des concentrés équilibrés et un fourrage varié). Les problèmes apparaissent quand une vitamine ou un minéral manque ou quand l'alimentation n'est pas équilibrée. Il y a très peu de risques de consommer trop de minéraux ou de vitamines (**Bonnier et al, 2004**).

Le formulateur doit d'abord compléter la ration de base, éventuellement corrigée, en calcium et en phosphore sur la base des apports recommandés, puis il faut s'assurer que les teneurs de l'AMV (Aliment minéral et vitaminique) en sodium, magnésium et oligoéléments permettent la couverture des besoins. Pour le sodium, une solution simple consiste à laisser une pierre de sel à lécher à la disposition des animaux. Pour les vitamines, les apports journaliers recommandés dépendent de la proportion de concentré dans la ration (**Leborgne et al, 2004**). Les apports en minéraux des aliments sont exprimés en g/kg de MS d'aliment pour les macroéléments (calcium, phosphore, potassium, sodium, chlore, soufre et magnésium) et

en mg/kg de MS d'aliment ou en ppm pour les oligo-éléments (fer, sélénium, zinc, cuivre, iode, cobalt, manganèse). Les apports en vitamines sont quant à eux exprimés en mg/kg de MS d'aliment ou en Unité Internationale (UI)/kg de MS d'aliment (**Cuvelier et Dufrasne, 2005**).

2-2-2-4- Besoin en Eau

L'eau est utilisée comme véhicule des nutriments vers les tissus, support de la digestion, véhicule de l'excrétion, moyen de rafraîchissement, source de minéraux et comme constituant de base du lait (**Chesworth, 1996**). Selon **Wolter (1994)**, il semble que tout sous abreuvement entraîne une diminution de la consommation alimentaire et de la production laitière.

Les besoins en eau varient en fonction du poids vif de la vache, de la production laitière, de la teneur des aliments en eau, en protides absorbés et en sels diurétiques comme l'ion potassium et en fonction de la température ambiante et le degré d'humidité atmosphérique (**Craplet, 1973**). **Cauty et Perreau (2003)** rapportent qu'une vache doit boire quatre litres d'eau par kilo de matière sèche ingérée et un litre par kilo de lait produit.

Le tableau suivant montre les besoins en eau des bovins selon le type d'animal et la période de production dans laquelle il se trouve:

Tableau 07 : Besoins en eau de bovins selon le type d'animal et la période de production
(**K.aoumeur, 2018**).

Classe animale	Besoins en eau
Veaux	5-15 litres / jour
Bovins (1-2 ans)	15-35 litres / jour
Vaches tarées	30-60 litres / jour
Vaches de production (10 kg de lait)	50-80 litres / jour
Vaches de production (lait de 20 kg)	70-100 litres / jour
Vaches de production (30 kg de lait)	90-150 litres / jour

2-2-2-5- Besoins en Fibres

Pour stimuler la fonction du rumen, dans le cas des ruminants, une certaine quantité de fibres est nécessaire. Cette fibre est également nécessaire pour maintenir le niveau de graisse dans le lait produit par les animaux.

Les niveaux optimaux de fibres dans le cas des vaches laitières se situent entre 17 et 22% de matière sèche. Si les valeurs de fibres dans la ration sont supérieures à 22%, la capacité de consommation alimentaire de ces animaux est sérieusement affectée. Cependant, des valeurs inférieures à 17% nuisent au niveau de graisse du lait, le réduisant considérablement (**K.aoumeur, 2018**).

2-2-3- Capacité d'ingestion (CI)

La quantité d'aliments distribués et ingérés volontairement par une vache constitue sa capacité d'ingestion, laquelle est variable selon l'âge de l'animal, son poids, sa production, ses phases de gestation et de lactation, et son état corporel. Ce dernier correspondant au niveau du gras accumulé par l'animal, est un indicateur important permettant de diriger les apports énergétiques de la ration (**Cuvelier et Dufrasne, 2002**). L'ingestion des aliments par les animaux a pour but de couvrir d'abord leurs besoins d'entretien puis ceux de production (croissance, gestation, lactation, ...).

Au cours du cycle lactation-gestation, la capacité d'ingestion varie de façon générale en même temps que les dépenses énergétiques. Cependant, les variations de la capacité d'ingestion sont beaucoup moins importantes et moins rapides que celles des besoins énergétiques (**Wolter, 1992 ; Hoden et al, 1988**). Ce décalage entre l'adaptation de l'ingestion alimentaire et l'évolution des dépenses énergétiques s'explique par le fait que la CI est, fondamentalement limitée par la capacité du rumen lorsque la ration de base est constituée de fourrage. La capacité du rumen est étroitement liée à la taille de l'animal et au volume disponible dans la cavité abdominale. Cette dernière est comprimée (de même que le rumen) par le développement de l'utérus et des réserves adipeuses abdominales en fin de gestation (**Wolter, 1992 ; Jarrige, 1988 ; Enevoldsen et al, 1997**).

2-3- Valeur nutritifs des aliments

La valeur alimentaire d'une ration est par définition le produit entre sa valeur nutritive et la quantité ingérée. La valeur nutritive, quant à elle, est caractérisée par la valeur énergétique, en azote, en minéraux et en vitamines (**Mauries et Allard, 1998**).

La valeur alimentaire comprend deux grandes composantes :

- L'ingestibilité de l'aliment qui est exprimée par sa valeur d'encombrement (UE), est l'aptitude d'un aliment à être ingéré en plus ou moins grande quantité. Les aliments concentrés n'ont pas de valeur d'encombrement propre. Leur valeur d'encombrement est fonction de celle des fourrages de la ration et du taux de substitution de l'aliment concentré aux fourrages.
- La valeur nutritive qui permet d'évaluer la contribution de cet aliment à la couverture des besoins nutritionnels de l'animal, est fortement liée à la composition biochimique et à l'origine des constituants végétaux (cytoplasmiques et membranaires) constitutifs de l'aliment.

Il est nécessaire d'exprimer les besoins des animaux et la valeur nutritive de tous les aliments (valeur énergétique, valeur azotée...) dans les mêmes unités. Des méthodes de calcul et de prédiction de la valeur nutritive ont été élaborées, prenant en compte les diverses étapes de la transformation des aliments en tissus ou en produits de sécrétion, ainsi que leurs rendements de transformation. Ces ensembles de concepts et de modes de calculs constituent des « systèmes » de prédiction de la valeur énergétique, de la valeur azotée et de l'ingestibilité des aliments (**Demarquilly et al, 1996**).

2-3-1- Valeurs énergétiques

Les besoins en énergie de la vache laitière, exprimés en unités fourragères lait (U.F.L) (**Metge, 1990**). Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique (DMO) (**Baumont et al, 2008**).

L'UF est une unité concrète dont l'usage est bien établi en France et dans certains pays européens pour le rationnement des animaux et la commercialisation, le système des unités fourragères « lait » (UFL) pour les femelles en lactation et les animaux à l'entretien ou à croissance modérée (**Jarrige, 1980**). Cette méthode analytique a l'avantage de présenter de façon claire et logique les processus de l'utilisation de l'énergie des aliments par les ruminants (**Journet et Hoden, 1978**). Selon (**Croisier, 2012**), dans ce système, on compare la teneur en énergie nette des aliments à celle d'un aliment de référence. L'aliment de référence retenu à la mise en place du système (1988) est l'orge. On peut donc écrire cette équation :

$$\text{Valeur énergétique d'un aliment (UF)} = \frac{\text{énergie nette de 1 Kg de MS d'aliment (KCAL)}}{\text{énergie nette de 1 Kg d'orge (KCAL)}}$$

2-3-2- Valeur azotée

La valeur azotée des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen.

On distingue la valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable, et la valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes (**Baumont et al, 2009**). La digestion des matières azotées est plus ou moins importante.

L'ancien système de recommandations en matières azotées digestibles (MAD) consistait uniquement en un bilan des quantités de matières azotées ingérées et de celles excrétées. Or, et cela a été exposé plus haut concernant la digestion des ruminants, les matières azotées sont en partie modifiées lors de leur passage dans le rumen, et l'évaluation des protéines d'origine microbienne et des protéines d'origine alimentaire non transformées dans le rumen donne une plus juste valeur azotée des aliments. Le système PDI est donc à utiliser de préférence pour les animaux à haute production (**Meyer et Denis, 1999**).

Le système MAD peut encore être utilisé pour les vaches de faible ou de moyenne production. Les ruminants, après avoir absorbés les protéines digérées (sous forme d'acides aminés), bénéficient donc à la fois des PDIA et des PDIM. Pour tenir compte des facteurs militants, (**Croisier, 2012**) a fait la distinction de deux catégories :

$$\text{PDIE}=\text{PDIA}+\text{PDIM-E}$$

$$\text{PDIN}=\text{PDIA}+\text{PDIM-N}$$

2-3-3- Equilibre PDIN-PDIE

Pour obtenir une synthèse de protéines microbiennes optimale et une digestibilité de la ration satisfaisante, la flore microbienne doit disposer en même temps d'une quantité minimale d'énergie fermentescible et de matière azotée dégradable dans le rumen (**Faverdin et al, 2007**), c'est-à-dire des rapports PDIN égaux à ceux en PDIE. Ainsi, on limite le risque de production de NH₃ en excès. Un déficit en azote dégradable (apport PDIN inférieur à PDIE) limite l'efficacité de la digestion microbienne et entraîne une diminution de production laitière par diminution de l'ingestion (**Enjalbert, 2003**).

L'excès d'azote dégradable entraîne une sollicitation supplémentaire du foie, en outre la néoglucogenèse importante en post-partum entraîne une éventuelle stéatose, l'ammoniac absorbé au niveau ruminale active les processus hépatiques de détoxification.

De même, le rapport PDIE/UFL permet de juger de l'équilibre des nutriments, acides aminés et énergie mis à la disposition de la vache après digestion lorsque l'équilibre nutritionnel des microbes est satisfaisant (**Faverdin et al, 2003**).

Tableau 08. Rappel des principes de calcul de la valeur énergétique et azotée (**Baumont et al, 1999**).

<i>Valeur énergétique</i>
$\text{UFL} = \frac{\text{ENL}}{1700} \quad \text{UFV} = \frac{\text{ENEV}}{1820}$ <p>Énergie nette pour la lactation $\text{ENL} = \text{EM} \times \text{kl}$ Énergie nette pour l'entretien et la production de viande (ENEV) = $\text{EM} \times \text{KMF}$ avec kl = efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable (EM) pour la lactation kmf = efficacité d'utilisation de l'EM pour l'entretien et la production de viande</p> <p>Énergie métabolisable $\text{EM} = \text{EB} \times \text{dE} \times \frac{\text{EM}}{\text{ED}}$ avec EB = énergie brute de l'aliment Em = énergie microbienne dE = digestibilité de l'énergie : fonction de la dMO de l'aliment EM/ED = rend compte des pertes d'énergie sous formes de gaz et dans les urines, fonction de la composition chimique de l'aliment et du niveau de l'alimentation.</p>
<i>Valeur azotée</i>
<p>$\text{PDIN} = \text{PDIA} + \text{PDIMN}$ $\text{PDIE} = \text{PDIA} + \text{PDIME}$ avec PDIA = protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire PDIM = protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne, limitées par l'azote dégradé (PDIMN), par l'énergie fermentescible (PDIME) $\text{PDIA} = 1,11 \times \text{MAT} \times (1 - \text{DT}) \times \text{dr}$ $\text{PDIMN} = 0,64 \times \text{MAT} \times (\text{DT} - 0,10)$ $\text{PDIME} = 0,093 \times \text{MOF}$ avec MAT = matières azotées totales de l'aliment DT = dégradabilité théorique des MAT de l'aliment dans le rumen DR = digestibilité réelle des acides aminés alimentaires dans l'intestin grêle MOF = matière organique fermentescible de l'aliment</p>

2-3-4- Valeur d'encombrement

Les unités d'encombrement (UE) expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantité lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est digestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen qui dépend du temps nécessaire à sa digestion par les micro-organismes et à sa réduction en petites particules pouvant être évacuées dans la suite du tube digestif. Ce temps de séjour est lié à la teneur en parois végétales du fourrage (**Baumont et al, 2000**). La valeur d'encombrement d'un fourrage est une fonction inverse de son ingestibilité. Trois unités d'encombrement ont été définies selon (**Dulphy et al, 1987**) respectivement pour les moutons (UEM), pour les vaches laitières (UEL) et pour les autres bovins (UEB).

2-4- Ingestibilité et digestibilité des fourrages

Les aliments ingérés ne sont pas absorbés en totalité, une partie des « ingesta » traverse le tube digestif et se retrouve dans les fèces. La digestibilité constitue le principal facteur de variation de la valeur énergétique des aliments (**Delteil et al, 2004**).

L'ingestibilité est définie comme le potentiel d'ingestion d'un aliment par un animal. L'acte d'ingestion consiste à remplir le rumen avec des aliments solides dont les fourrages constituent un élément essentiel avec de l'eau. Ces aliments solides sont dégradés de manière continue par une flore complexe constituée de bactéries, de protozoaires, de levures, etc. (**Vignau-Loustau et Huyghe, 2005**). L'ingestibilité de l'aliment, c'est à dire son aptitude à être ingéré en plus ou moins grande quantité par l'animal. Pour les fourrages naturels, ce paramètre varie selon l'appétibilité (attrait exercé sur l'animal, caractéristiques organoleptiques) et, pour une large part, selon la digestibilité et la teneur en azote.

On admet généralement que 70% des variations de la digestibilité peuvent être attribuées à des variations de la composition chimique et de la digestibilité. Des fourrages âgés à teneur élevée en fibres et lignine et à teneur faible en protéines séjournent plus longtemps dans le rumen. La limitation des quantités d'azote dégradable et d'énergie fermentescible ralentit d'autant le développement de la population bactérienne cellulolytique. Le transit et la reprise de l'ingestion se font moins rapidement que pour des fourrages plus jeunes (**CIRAD-GRET, 2006**).

L'ingestibilité des fourrages verts dépend en gros des mêmes critères que ceux qui conditionnent la digestibilité, à savoir :

- Le rapport feuilles/tiges ;

- La proportion de constituants intracellulaires : leur digestibilité réelle est pratiquement de 100%, ils sont très rapidement digérés et n'encombrent pas ou peu le rumen ;
- Et, par différence, la proportion de parois : la vitesse de dégradation et de réduction des parois cellulaires en fines particules, ce qui leur permet de quitter le rumen, diminue en effet au fur et à mesure que la proportion de parois augmente et qu'elles deviennent de plus en plus lignifiées (**Demarquilly et al, 1998**).

2-5- La digestion des aliments chez le ruminant

2-5-1- Anatomie et physiologie digestive des ruminants

Le système digestif des bovins présente la particularité d'être pourvu de 4 estomacs : 3 « pré-estomacs » (réseau, rumen et feuillet) et un estomac proprement dit, la caillette. Cette configuration particulière permet au ruminant d'effectuer une prédigestion microbienne des aliments, facilitant une utilisation poussée des fibres présentes dans la ration.

Le rumen est un écosystème peuplé de microorganismes qui vivent en symbiose avec le ruminant. Ces microorganismes, adaptés à vivre dans un environnement caractérisé par un pH de 6,0 à 7,0, dégradent, *via* des processus d'hydrolyse et de fermentations, la plupart des composants de la ration alimentaire.

2-5-2- La digestion des aliments

Les quantités d'aliments ingérables sont limitées par l'encombrement créé au niveau du rumen et par la capacité d'ingestion de l'animal. On traduit donc généralement la qualité de la ration en termes de valeur énergétique, de valeur protéique et d'ingestibilité. Et l'on met ensuite cette valeur en relation avec les besoins en énergie et en protéines de l'animal ainsi qu'avec sa capacité d'ingestion (**Guérin et al, 2002**).

Une vache peut manger des fourrages (aliments pauvres en énergie) et des concentrés (en général aliments riches en énergie). Cependant, l'addition de grandes quantités de concentrés dans la ration doit être très progressive et étalée sur une période de transition de 4 à 5 jours pour permettre aux bactéries du rumen de s'adapter à la nouvelle ration (**Wattiaux et Homan, 1996**).

Toutes les plantes fourragères ont une valeur alimentaire et une digestibilité bien meilleure quand elles sont jeunes, le stade de récolte sera donc toujours un compromis entre la valeur fourragère et le niveau de la production (**Sprumont, 2009**). Le fourrage de haute qualité offre beaucoup plus de flexibilité en termes de formulation des rations (**Beauchemin et Rode, 2012**).

Pour couvrir ses besoins quotidiens, le ruminant doit disposer d'un aliment qui lui apporte des quantités suffisantes d'énergie et de matières azotées (Guérin et al, 2002).

2-5-2-1-La digestion des glucides

Une fois arrivés dans le rumen, les glucides subissent une fermentation microbienne conduisant à la formation d'un mélange d'acides gras volatils (AGV) : acide acétique (C2 : 0), acide propionique (C3 : 0) et acide butyrique (C4 : 0), les proportions de ces 3 acides gras étant généralement de l'ordre de 65 : 20 : 15. Ces différents AGV sont ensuite absorbés à travers la paroi du rumen (Cuvelier et Dufrasne, 2005).

2-5-2-2-La digestion des lipides

Les lipides alimentaires sont hydrolysés par les microorganismes du rumen, ce qui permet la production de glycérol et d'acides gras libres.

A côté de leur activité de dégradation des lipides alimentaires, les microorganismes synthétisent également, au sein de leur organisme, des lipides microbiens. Lorsque ces microorganismes quittent le rumen et passent dans la caillette, ils sont détruits par le suc gastrique (Cuvelier et Dufrasne, 2005). Ceci entraîne la libération des lipides microbiens ; les acides gras libres microbiens rejoignant le pool d'acides gras libres d'origine alimentaire pour subir une digestion et une absorption intestinales (figure 1).

2-5-2-3-La digestion des matières azotées

Les matières azotées alimentaires subissent dans le rumen une dégradation dont le produit terminal est l'ammoniac (NH₃). Cet ammoniac est utilisé par les microorganismes du rumen pour synthétiser leurs propres protéines, appelées protéines microbiennes. Cette synthèse ne peut cependant avoir lieu qu'en présence d'une quantité suffisante d'énergie. C'est principalement la dégradation des glucides *via* les fermentations microbiennes qui va fournir l'énergie nécessaire à cette synthèse protéique. S'il existe un excédent de matières azotées par rapport à l'énergie présente, l'ammoniac excédentaire est absorbé puis transformé en urée dans le foie.

Les protéines microbiennes subissent une digestion enzymatique dans la caillette, conduisant à la formation d'acides aminés (AA) (figure 02).

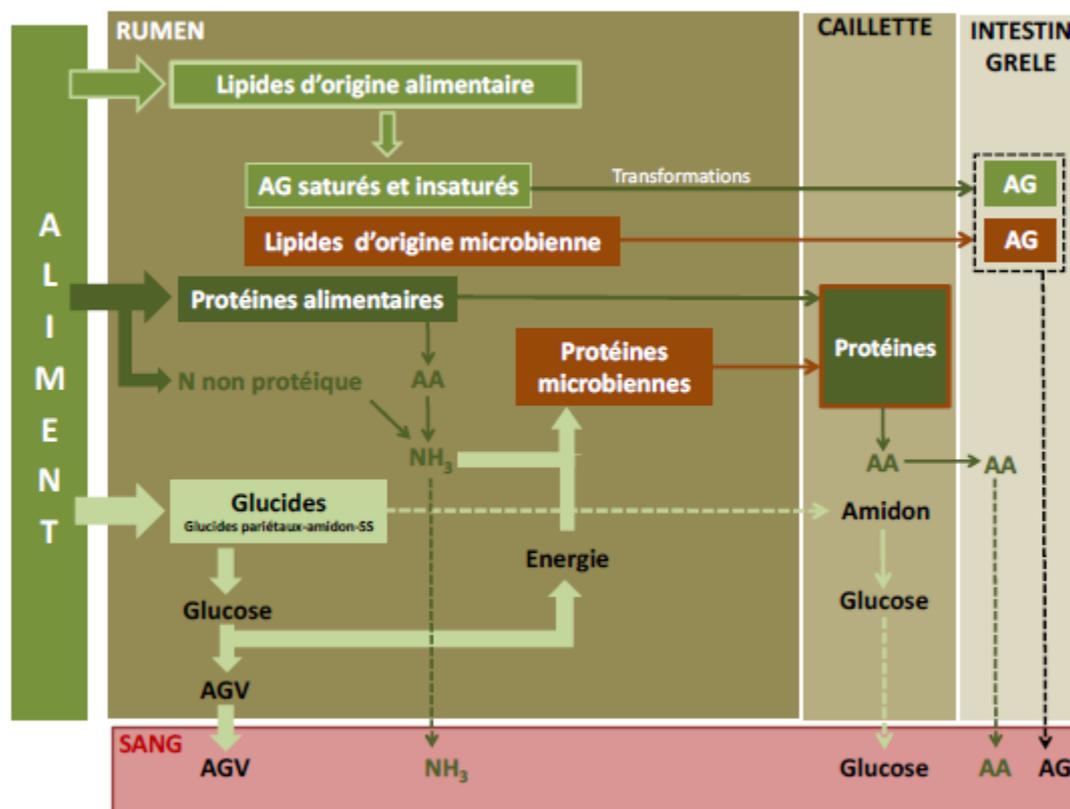


Figure 02. Schéma simplifié de la digestion des glucides, des lipides et des matières azotées chez le ruminant (Cuvelier et Dufrance 2011)

2-6 - Les besoins de la vache laitière

Les besoins de la vache laitière sont évalués en fonction du stade de sa vie productive.

Ils concernent : l'entretien la croissance, la gestation, la production et la reproduction.

2-6-1- Les besoins d'entretien

Ils correspondent à la consommation des nutriments nécessaires au maintien de la vie d'un animal ne subissant pas de variation de sa masse corporelles ; ils se traduisent par l'utilisation d'énergie à l'accomplissement des fonctions de base de l'organisme (respiration, circulation sanguines, tonicité musculaire...etc.) et par le renouvellement d'une partie des matériaux constitutifs des tissus animaux (Barret, 1992). Selon (Serieys, 1997), les besoins d'entretien varient essentiellement en fonction du poids de l'animal (tableau 3). Ils sont nécessaires au maintien en vie de l'animal sans perte ou gain de poids et différents selon le mode de stabulation (Jarrige, 1980) :

- 10% en stabulation entravée.
- 20% en stabulation libre (en pâturage).

Par contre on considère qu'il n'y a pas de variations de besoins d'entretien en fonction du stade physiologique (Serieys, 1997).

Tableau 09. Besoins d'entretien pour les vaches laitières de 600 Kg (INRA, 1988)

Energie(UFL) :	1,4+0,6PV/100 ; 1,4+3,6=5UFL
Azote (MAD) :	0,6PV =360g
Azote (PDI) :	100+0,5.PV =400g
Calcium(Ca) :	6g/100Kg de PV 36g

Tableau 10. Besoins d'entretien de la vache laitière (étable entravée) en fonction de son poids vif (INRA, 1988)

Poids vif (kg)	UFL	PDI(g)	Ca(g)	P(g)
550	4.7	370	33	24.5
600	5.0	395	36	27
650	5.3	420	39	29.5
700	5.6	445	42	31.5

2-6-2 -Besoins de production

Ces besoins correspondent à l'ensemble des synthèses et exportations réalisées par la mamelle pour la production laitière, ils varient selon la quantité du lait produite et sa composition en taux butyreux et en taux protéiques (tableau 4). Au début de la lactation, les besoins maximum sont atteints dès la première semaine après le vêlage pour les PDI et le calcium et après 2 à 3 semaines pour les UFL c'est à dire bien avant le pic de production qui intervient habituellement vers la 5ème semaine (Serieys, 1997).

Les vaches laitières à haut niveau de production ont des besoins élevés en acides aminés pour la synthèse des protéines du lait, elles ne peuvent couvrir leurs besoins en protéines uniquement par les acides aminés microbiens et l'apport des acides aminés alimentaires est non négligeable (INRA, 2004).

Tableau 11. Besoins de production (énergie et azote) en fonction du TB et TP (Sérieys, (1997)

Taux butyreux (g/Kg)	Taux protéique (g/Kg)	UFL/Kg	g de PDI /Kg
30	27	0.38	42
40	31	0.44	48
45	33	0.48	51
50	35	0.51	54
55	37	0.57	57

Selon **Jarrige(1988)**, les besoins des vaches laitières en calcium (Ca) et en phosphore (P) augment substantiellement à partir du vêlage, du fait que ces deux minéraux entrent amplement dans la composition du lait. MEYER et DENIS (1999) ajoutent que si l'apport alimentaire en Ca et P est insuffisant, l'animal utilise ses réserves osseuses. Cependant, en cas de carence grave, la production laitière diminue.

Tableau 12. Besoins quotidiens en minéraux de la vache laitière (Meyer et Denis (1999)

Type de besoins	Poids vif (kg)	Minéraux		
		Ca (g)	P (g)	Na (g)
Entretien stabulation entravée	200			
	300	12	7	4
	400	24	17	6
	500	36	27	8
	600			
Gestation (3 dernier mois)		+25 -50%	+20 -50%	+25%
Lactation		3,5*	1,7*	0,5*

Ca : calcium ; P : phosphore ; Na : sodium

*besoins par kilogramme de lait.

2-6-3 - Besoins de croissance et de reconstitution des réserves corporelles

La croissance de la vache laitière se poursuit pendant plusieurs lactations, elle n'est importante que chez les primipares, notamment en cas de vêlage à 2 ans (environ 60kg par an soit 200g/j) et chez les multipares la croissance est plus réduite et les besoins correspondants sont considérablement négligeables (**Serieys, 1997**). D'après **Jarrige(1988)** les primipares de 2ans doivent bénéficier d'un apport supplémentaire de 1 UFL et de 120g de PDI environ par rapport aux primipares de 3ans.

Les réserves corporelles mobilisées par les femelles en lactation pour la couverture des dépenses énergétiques quand l'apport est inférieur à la dépense doivent être reconstitués pour aborder un nouveau cycle de production (**Wolter, 1997**).

2-6-4 - Les besoins de gestation

Ils correspondent aux besoins nécessaires à la fixation du ou des fœtus, le placenta, les enveloppes de la paroi utérine et les glandes mammaires. Ils deviennent importants au cours du dernier tiers de gestation (**Jarrige, 1988**).

Selon **Serieys(1997)** pendant cette période, les dépenses augmentent plus vite que le poids du fœtus du fait que celui-ci s'enrichit en protéines, en graisses et en minéraux au cours de son développement, elles deviennent sensibles à partir du 7ème mois de gestation (tableau 7), elles s'augmentent avec le poids du veau à la naissance. Au 9ème mois ils représentent presque la moitié des besoins d'entretien de la vache.

Tableau 13. Besoins de gestation de la vache laitière (au-dessus de l'entretien) pour un veau pesant 40kg à la naissance (**INRA, 1988**)

Mois de gestations	UFL	PDI(g)	Ca(g)	P(g)
7 ^{ème}	0.9	75	9	3
8 ^{ème}	1.6	135	16	5
9 ^{ème}	2.6	205	25	8

CHAPITRE 3
EFFET ALIMENTATION
PROTEIQUE SUR LA PRODUCTION
LAITIERE

3-1-Effet de l'apport protéique sur la production de lait

L'alimentation azotée est un élément-clé du rationnement des vaches laitières car elle module à la fois les performances et l'impact environnemental de l'élevage. (Faverdin et al, 2003). Les apports azotés n'ont que peu d'effet sur la composition du lait l'augmentation de ces apports dans la ration quotidienne entraîne une augmentation conjointe des quantités du lait produit et des protéines secrétées, de sorte que le taux protéiques reste peu modifié, mais une ration riche en protéines brutes (17% ou plus) peut entraîner des laits contenant des quantités importantes d'urée. Ce taux d'urée du lait est très corrèle à celui du sang de la vache et peut être utilisé comme indicateur d'une sur- alimentation azotée. Par ailleurs, l'amélioration du profil en acides aminés limitant, en particulier en méthionine et en lysine digestible dans l'intestin, permet d'augmenter la teneur du lait en protéines et en caséines sans avoir d'effet significatif sur le volume de lait produit ou sur le taux butyreux (Araba, 2006).

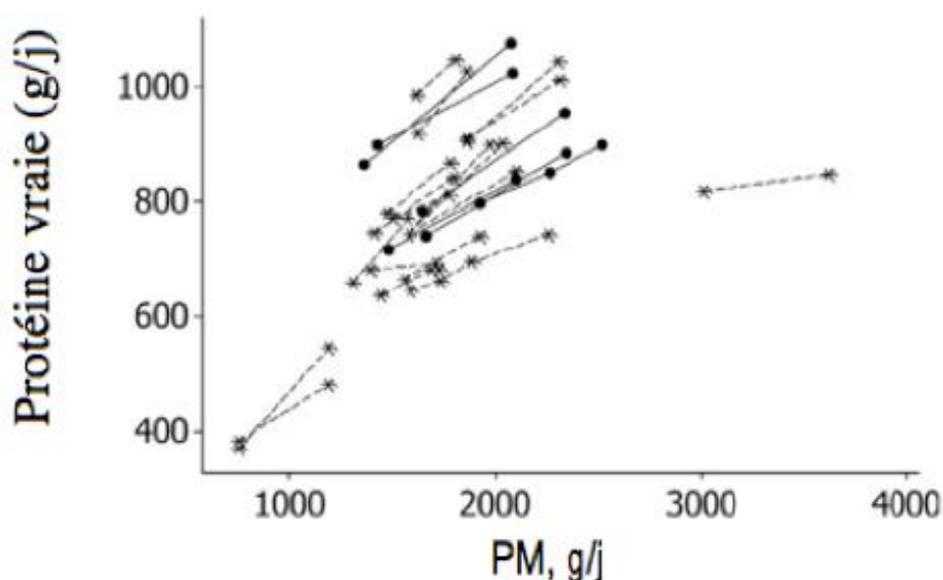


Figure 03 : Relation entre l'apport en protéine métabolisable PM (g/j) et les rendements en protéines du lait (g/j)(Lapierre et al. 2012).

3-2-Effet de l'alimentation protéique sur l'ingestion chez la vache laitière

L'apport de protéine a également modifié le comportement alimentaire en augmentant la vitesse d'ingestion, ce qui traduit généralement un appétit accru, et en réduisant le nombre de repas. Cet essai analytique permet donc de conclure qu'un supplément de protéines au niveau intestinal peut stimuler l'ingestion chez la vache laitière (Faverdin et al 2003).

La faible ingestion provoquée par un manque d'azote dégradable des régimes est connue depuis longtemps chez les ruminants et avait été particulièrement bien étudiée avec des fourrages pauvres en azote et peu digestibles. L'addition de sources d'azote non protéiques (ANP) à ces fourrages pauvres permet le plus souvent d'observer une augmentation des quantités ingérées (**Benhamed et Dulphy 1986**). La meilleure disponibilité de l'azote dégradable accroît l'activité cellulolytique et améliore souvent la digestibilité de la ration (**Chenost et Dulphy 1987**).

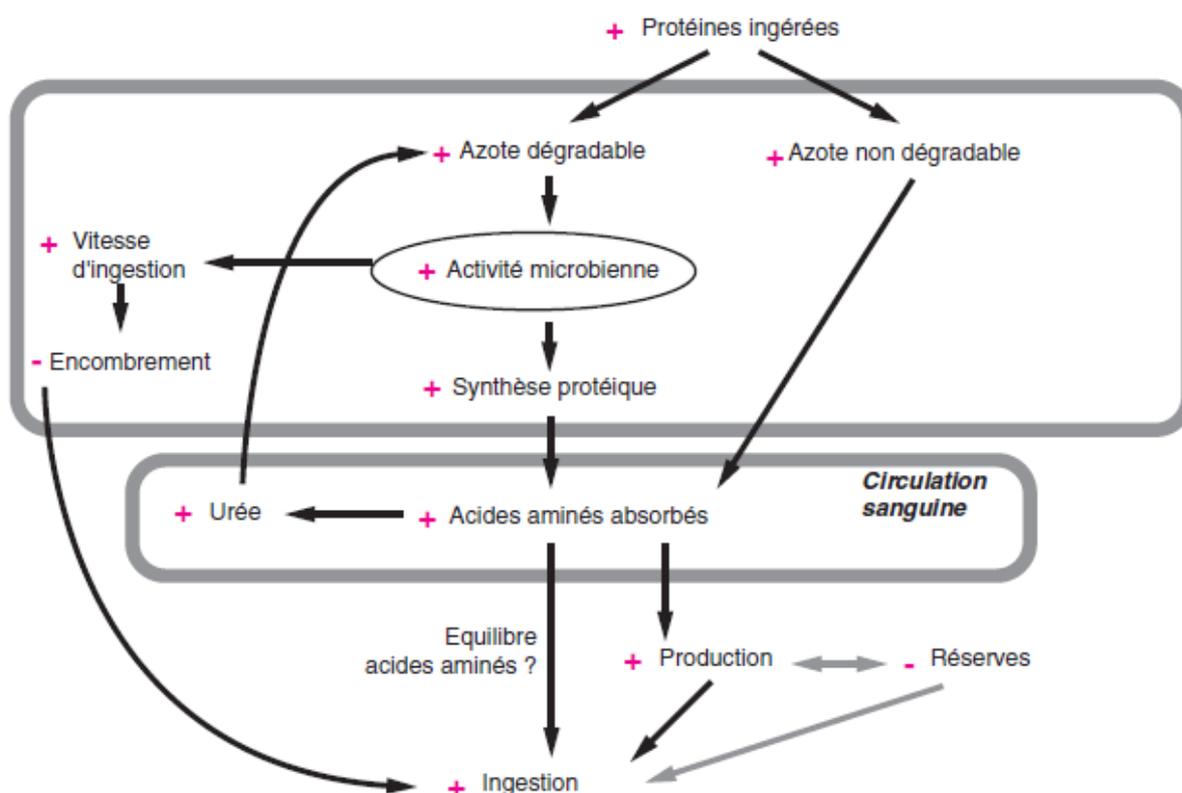


Figure 04. Mécanismes d'action des protéines dans la régulation de l'ingestion (**INRA 2003**).

3-3-L'effet de l'alimentation protéique sur le taux protéique

La teneur en protéines du lait augmente lorsqu'on accroît la teneur en protéines alimentaires de l'animal. Cette augmentation est cependant minime, soit d'environ 0,02 % pour chaque point de pourcentage de protéines ajoutées à la ration.

La teneur accrue en protéines augmente souvent la digestibilité de la ration ainsi que la prise alimentaire, ce qui accroît l'énergie de la vache et sa production laitière. Dans un tel cas, on peut assister à une augmentation du rendement en protéines reliée à l'augmentation de la production laitière, sans pour autant que la teneur en protéines du lait soit modifiée.

En réalité, la teneur en protéines du lait des vaches qui reçoivent une ration équilibrée pour ses besoins de la production laitière n'est pas susceptible d'augmenter beaucoup par suite de l'accroissement des quantités de protéines ingérées (**Snowdon 1992**).

3-4-Impact de l'alimentation protéique sur la matière grasse

Les effets des protéines alimentaires sur le pourcentage de matières grasses du lait sont variables mais généralement faibles lorsque les régimes alimentaires se situent dans les fourchettes de nutriments normalement acceptées (**Sutton, 1980**). Les changements dans le pourcentage de matières grasses résultent de changements dans la production de lait plutôt que d'un effet direct de la source ou de la quantité de protéines alimentaires. Des quantités insuffisantes de protéines dégradables dans le rumen peuvent réduire le pourcentage de matières grasses du lait en raison d'un manque d'ammoniac dans le rumen pour une digestion microbienne optimale des fibres et d'autres aliments (**Thomas et Chamberlain, 1984**).

3-5-Effet de l'utilisation du tourteau de colza sur la production laitière

Au cours de plusieurs études, il a été observé que le TC est une excellente source protéique pour les vaches laitières en lactation. Les études effectuées par **Laarveld et Christensen (1976)**, **Papas et al. (1978)**, **Dewhurst et al. (1999)**, **Shingfield et al. (2003)** et **Vanhatalo et al. (2003)** ont montré que lors d'une substitution de protéines par TC, la production de lait pouvait augmenter approximativement 3 kg par jour par vache. Ainsi, dans un résumé de 21 essais de recherche (Tableau 2.10) qui compare l'effet des régimes alimentaires contenant du TC vs d'autres sources protéiques, on a observé que les vaches consommant des rations qui contenaient du TC augmentaient leur production de lait de 1,27 kg/j par rapport aux régimes contenant des tourteaux de coton et de TS entre autres. Des récentes études effectuées par **Brito et Broderick (2007)** chez des vaches produisant plus de 40 kg/j indiquent clairement que, même à des niveaux élevés de production, le TC est encore une source protéique supérieure au TS et aux graines de coton.

Santos et al. (1998) ont observé que le remplacement du TS avec des protéines protégées de la dégradation ruminale entraînait une diminution de la synthèse ruminale de protéines

microbiennes ainsi qu'un changement du profil des AA absorbés sans améliorer la production laitière. Toutefois, les résultats obtenus par **Wright et al. (2005)** indiquent qu'une augmentation de la protéine non-dégradable dans le rumen (PND) provenant des régimes alimentaires à base de TC améliore l'IMS, l'utilisation de l'azote et la production du lait.

3-6-Effet de tourteau de soja sur la production laitière

Le tourteau de soja est l'une des principales sources de protéines utilisées dans aliments pour vaches laitières en raison de son profil d'acides aminés riche en lysine, malgré une légère carence en méthionine (**Singh et al. 2008**).

L'inclusion de tourteau de soja dans l'alimentation a augmenté la MSI et, par conséquent, la production de lait chez les vaches laitières (**Giallongo et al, 2015**). En raison de sa plus grande teneur en matières grasses, le TS augmente également la densité énergétique de l'alimentation, ce qui peut être particulièrement bénéfique pour les vaches en début de lactation (**Giallongo et al, 2015**).

PARTIE PRATIQUE

1-Contexte du travail

En Algérie, la quasi-totalité des matières premières protéiques particulièrement le tourteau de soja utilisée dans la formulation des aliments reste importée et est soumise aux variations des coûts sur le marché mondial en entravant le développement des productions animales locales. La réussite de la culture de colza adopté par l'état Algérien afin de parvenir à l'autosuffisance en huile de table peut contribuer l'alimentation animale par l'utilisation de leurs sous-produits en apportant des solutions de substitution du tourteau de soja importé dans les rations des animaux d'élevage. Le tourteau de colza, en particulier, est riche en protéines offrant une qualité de protéines et un profil d'acides aminés proches de ceux du tourteau de soja. De ce fait, le tourteau de colza peut être admis comme la meilleure alternative de tourteau de soja. L'objectif de ce travail de mettre en évidence à travers d'une méta-analyse la différence en une alimentation protéique à la base de tourteaux de soja et de tourteaux de colza et son effet sur la production laitière.

2-Matériels et Méthodes

2-1-Recherche bibliographique

La recherche bibliographique et la sélection des articles s'effectuent en deux étapes :

- une recherche primaire, basée sur des mots-clés se référant au sujet : « Tourteau de colza », « tourteau de soja », « production laitière », « vache laitière », « alimentation protéique ». Un serveur de Google scholar permettant la recherche d'articles et de publications scientifiques, a été interrogée avec ces mots clés. A partir des titres et des résumés, 50 articles ont été présélectionnés

- une recherche secondaire, qui suit un protocole de sélection des articles :

Tout d'abord, chaque étude doit inclure l'effet de ration protéique sur la production laitière, c'est-à-dire de la qualité de lait. Aussi, les études doivent comparer les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique avec des vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique. Enfin, les études doivent inclure suffisamment de données pour le calcul de l'effet standardisé (que nous verrons plus tard. Nous obtenons 12 articles qui répondent aux critères de notre méta-analyse.

2-2- Sélection d'études

Les articles obtenus à partir des recherches finales ont d'abord été dédoublés, puis un processus d'inclusion/exclusion a été effectué sur la base des critères d'inclusion suivants :

- (1) essais contrôlés randomisés,
- (2) publiés dans des revues à comité de lecture,
- (3) tester l'effet ration protéique sur la production de lait
- (4) disponible en anglais. Les articles doivent également avoir été réalisés sur des vaches laitières en lactation
- (5) utiliser des rapports statistiques adéquats.
- (6) avoir rapporté les résultats d'au moins une des productions (PL, MSI et composition du lait) ainsi qu'une mesure de la variance (SEM ou écart type).

2-3- Extraction de données

Les données pour le MSI, le PL et la composition du lait ont été utilisées pour estimer les résultats. Une feuille d'extraction de données a été développée dans Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Chaque expérience contenant effet de tourteau de colza et de soja sur le lait été codée individuellement et chaque ligne représentait une taille d'effet. Lorsque plusieurs tailles d'effet utilisant un groupe témoin commun étaient présentes dans une seule étude, ces effets ont été saisis dans des lignes séparées et ont été liés par l'identité de l'essai. Les autres informations extraites pour chaque étude étaient la publication année, pays, race de vaches, production laitière, ECM, protéine, lactose, matière grasse, conception de l'étude (terrain ou expérimentale l'étude, stade de lactation pour la période d'étude (DIM), fréquence de traite ($2 \times$ ou $3 \times$), caractéristiques du régime post-partum [amidon, protéines brutes (CP), fibres au détergent acide (ADF) et fibres au détergent neutre (NDF)], et comment la ration a été administré à la vache [individuellement ou en groupe].

2-4- Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été effectuées dans le logiciel R (version 3.2.3 ; Base de R pour les calculs statistiques, Vienne, Autriche) en employant les paquets statistiques de Meta (version 4.3-2 ; Schwarzer, 2010) et Metafor (version 1.9-5 ; Viechtbauer, 2010). Un modèle à un effet aléatoire a été conduit au premier temps afin d'estimer la différence de moyenne (DM), son

intervalle de confiance de 95%, et sa signification statistique. L'hétérogénéité des résultats a été estimée en utilisant χ^2 de l'hétérogénéité (Q-test de Cochran) et I^2 pour évaluer la prévalence de l'effet fixe. L'index I^2 décrit le pourcentage de la variabilité totale à travers des études due à l'hétérogénéité. Une valeur de I^2 supérieure à 75% signifie une hétérogénéité moyenne ou haute (Huedo-Medina et al, 2006).

Si une évidence d'hétérogénéité était trouvée ($I^2 > 75\%$), une analyse de méta-régression (modèle à effet mixte) a été exécutée pour explorer les sources d'hétérogénéité, en utilisant la taille individuelle d'effet logarithmique pour chaque épreuve comme résultats. Des variables de modérateur incluses dans la méta-régression et leurs niveaux ont été choisies a priori en basant sur la relation logique, théorique, et relation empirique précédente entre le stade de lactation et les performances de production. Le modèle mixte suivant a été employé :

$$\theta_j = \gamma_0 + \gamma_1 X_{\text{mod}} + \epsilon_j$$

γ_0 est l'effet attendu pour une étude quand le modérateur est nul, γ_1 l'effet fixe, X_{mod} est le modérateur introduit et ϵ_j la variance.

Plusieurs modèles ont été reportés à partir de leur hétérogénéité. Le modèle fixe a été appliqué pour des études homogènes. Ainsi, pour tous les effets fixes de méta-analyse, on a supposé que les valeurs de l'effet étaient les mêmes pour toutes les études et toute différence observée est simplement à cause de la variation de l'échantillonnage. Les biais des études ont été étudiés pour chaque méta-régression à l'aide de graphe en entonnoir avec les valeurs de l'effet (sur l'axe des abscisses) et une mesure de précision de l'étude (généralement l'erreur standard des valeurs de l'effet sur l'axe des ordonnées).

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des études collectées dans la méta-analyse.

Etudes	Payes	MSI	Traite	Fréquence de distribution de la ration	Ration de base	Niveau de soja	Niveau de colza	PB soja	PB colza	NDF soja	NDF colza
Gidlund et al. 2015	la Suède	88	2	4	Ensilage +orge	5-15	7-21	17,3-21	17-20,1	43,2-42,2	43,9-41,1
E. M. Paula et al. 2019	Etats-Unis	102	2	3	Ensilage de luzerne +ensilage de maïs			15,9	15,9	31,2	31,5
Glen A. Broderick et al 2015	Etats-Unis	81	2	1	Ensilage de luzerne +ensilage de maïs			53,6	40,6	7	29,9
J. I. Sánchez-Duarte et al 2019	Etats-Unis	90	2	1	Ensilage de luzerne +ensilage de maïs			51,3	38,8	8,6	27,7
G. A. Broderick et al 2018		119	3	1	Ensilage de luzerne +ensilage de maïs			15,7	15,7	27,1	29,5
A. B. D. Pereira et al 2020	Etats-Unis	153	2	2	ensilage de maïs+ ensilage graminées-légumineuses			17	16,8		
P. Chen et al 2008	La chine	58	3	3	ensilage de maïs+ Seigle sauvage chinois + Maïs, décortiqué moulu	10,53	5,00	16,47	16,21	36,52	36,77
G. Maxin et al 2013	canada	206	2	4	Foin d'herbe	13,7	20,8	17,1	17,5	32,5	36,3
Toti et al. 2018	IRAN	42	4	1	Ensilage de luzerne +ensilage de maïs			46,2	39,5	34,7	33,1
Ph. SCHMIDELY et al 2002	France		3	1	Ensilage de maïs+Pulpe de betterave+Drêches de brasserie+Luzerne 18+paille	3,2	4,7				
C.HURTAUD et al 2014	France		2	1	ensilage de maïs + ensilage de sorgho						

PB soja : protéine brut de soja **PB colza** : protéine brut

NDF soja : fibre détergent neutre de soja **NDF colza** : fibre détergent neutre de colza

3-Résultats

Tableau 15 : Méta-analyse de l'effet de la substitution des TS par le TC sur la production laitière chez les vaches

Paramètres	Stade de lactation	DM (95% CI)		Hétérogénéité		
		Effet aléatoire	p	χ^2 (dl) ³	p	I ² (%)
MSI (kg/j)	Totale	0.17 (0.15-0.49)	0.298	65.80 (12)	<0.0001	78.12
	Début	0.07 (-0.48-0.64)	0.787	56.17 (6)	<0.0001	89.02
	Milieu	0.30 (0.02-0.58)	0.032	6.43 (5)	0.266	21.87
Production laitière (Kg/j)	Totale	0.68 (0.26-1.10)	0.005	128.49 (14)	<0.0001	77.77
	Début	0.41 (-0.29-1.12)	0.254	36.15 (6)	<0.0001	75.94
	Milieu	0.95 (0.58-1.31)	<0.0001	4.19 (5)	0.521	0.00
ECM (Kg/j)	Totale	0.43 (0.09-0.77)	0.0118	22.20 (12)	0.035	44.52
	Début	0.40 (-0.07-0.88)	0.096	11.39 (6)	0.076	48.59
	Milieu	0.49 (-17.62-18.60)	0.957	0.005 (5)	1.000	0.00
MG (g/Kg)	Totale	33.92 (6.56-61.27)	0.015	335.59 (14)	<0.0001	94.32
	Début	30.25 (-7.65- 68.16)	0.117	33.93 (6)	<0.0001	80.80
	Milieu	18.18 (-9.74-46.12)	0.021	9.93 (5)	0.077	50.11
MP (g/Kg)	Totale	29.22 (2.50-45.94)	0.0006	59.88 (13)	<0.0001	77.72
	Début	23.45 (1.02-45.87)	0.040	19.80 (6)	0.003	68.91
	Milieu	19.98 (0.82-39.15)	0.040	10.97 (4)	0.026	63.62
Lactose (g/kg)	Totale	31.85 (7.12-56.58)	0.011	48.16 (11)	<0.0001	81.13
	Début	28.35 (-20.76-77.46)	0.257	31.74 (6)	<0.0001	86.86
	Milieu	34.22 (17.37-51.06)	<0.0001	4.50 (5)	0.479	0.00

3-1-Effet sur la Matière Sèche Ingérée (kg/j)

Dans manière générale, l'étude de hétérogénéité a été très significative ($p < 0.0001$). Le I^2 a été de ordre de 78.12% (tableau 15). Les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont ingérée la même quantité de matière sèche ($p = 0.298$). Concernant le stade de lactation, les vache ayant récemment vêlée, la quantité de MSI a été la même pour les deux types de tourteaux ($p = 0.787$). Cependant, au milieu de lactation, l'étude Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont ingérée 0.68 kg/j de MS plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.032$).

3-2- Effet sur la Production laitière (Kg/j)

Généralement, l'étude de hétérogénéité a été très significative ($p < 0.0001$); le I^2 a été de ordre 77,77% (tableau 15).

Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 0.68 kg/j de lait plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.005$). Au début de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont produit la même quantité de lait ($p = 0.254$). Toutefois, au milieu de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 0.95 kg/j de lait plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p < 0.0001$).

3-3-Effet sur l'ECM (Kg/j)

L'étude de hétérogénéité a été significative ($p = 0.035$); le I^2 a été de ordre de 44.52%. Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 0.43 kg/j de ECM plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.0118$). Concernant les vache ayant récemment vêlée, l'étude de hétérogénéité n'a été pas significative. Les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont produit la même quantité de ECM ($p = 0.096$). Au milieu de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont produit la même quantité de ECM ($p = 0.957$, tableau 15).

3-4- Effet sur la Matière Grass (g/Kg)

Généralement, l'étude de hétérogénéité a été très significative a été de ordre de 94.32% et DI14 et le $P < 0.0001$. Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 33.92 g/kg de MG plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.015$).

Au début de lactation, l'étude de hétérogénéité a été très significative a été de ordre de 80.80% et DI6 et le $P < 0.0001$. Les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont produise la même quantité de MG ($p = 0.117$).

Au milieu de lactation, l'étude de hétérogénéité a été significative a été de ordre de 50.11% et DI5 et le $P = 0,077$. Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 18.18g/kg de MG plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.021$).

3-5-Effet sur la Matière Protéique (g/Kg)

L'étude de hétérogénéité a été très significative ($P < 0.0001$), le I^2 a été de ordre de 77.72%. Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 29.22g/kg de MP plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.0006$). Concernant les vache ayant récemment vêlée, les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 23,45 g/kg de MP plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique (tableau 15, $p = 0.04$). Au milieu de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 19,98 g/kg de MP plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.04$).

3-6-Effet sur Lactose (g/kg)

Généralement, l'étude de hétérogénéité a été très significative ($P < 0.0001$), le I^2 a été de ordre de 81.13%. Les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produit 31.85g/kg de lactose plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($p = 0.011$).

Au début de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de soja ou le tourteau de colza comme complément protéique ont produise la même quantité de lactose ($P = 0.257$),

alors que au milieu de lactation, les vaches ayant consommé le tourteau de colza comme un complément protéique ont produise 34,22 g/kg de lactose plus que les vaches ayant consommé le tourteau de soja comme un complément protéique ($P < 0.0001$).

3-7-Effet de stade de lactation sur la production laitière

La méta-régression a révélé un effet de stade de lactation sur la production laitière. Les vaches en milieu de lactation ont produits, en effet, plus de lait qu'au début de lactation (+1.23 kg/j, $p < 0.0001$) (tableau 16, figure 06). Le graphe en entonnoir n'a révélé aucun effet de biais de publication (figure 05).

Tableau 16 : Méta-régression de l'effet de stade de lactation sur la différence de production laitière entre le TS et TC

Modérateur		MD	95%IC	Valeur de P
Stade de lactation	Milieu	1.23	0.83-1.63	<0.0001
	Début	Référence		

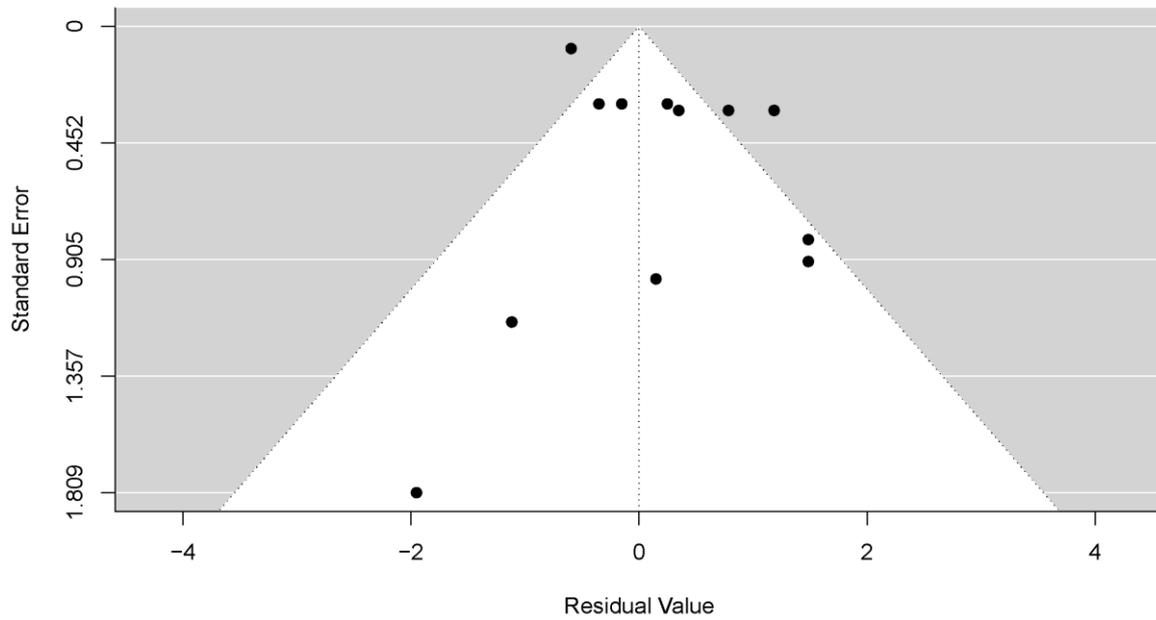


Figure05 : Graphe en entonnoir de la méta-régression de l’association entre le stade de lactation et l’effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production.

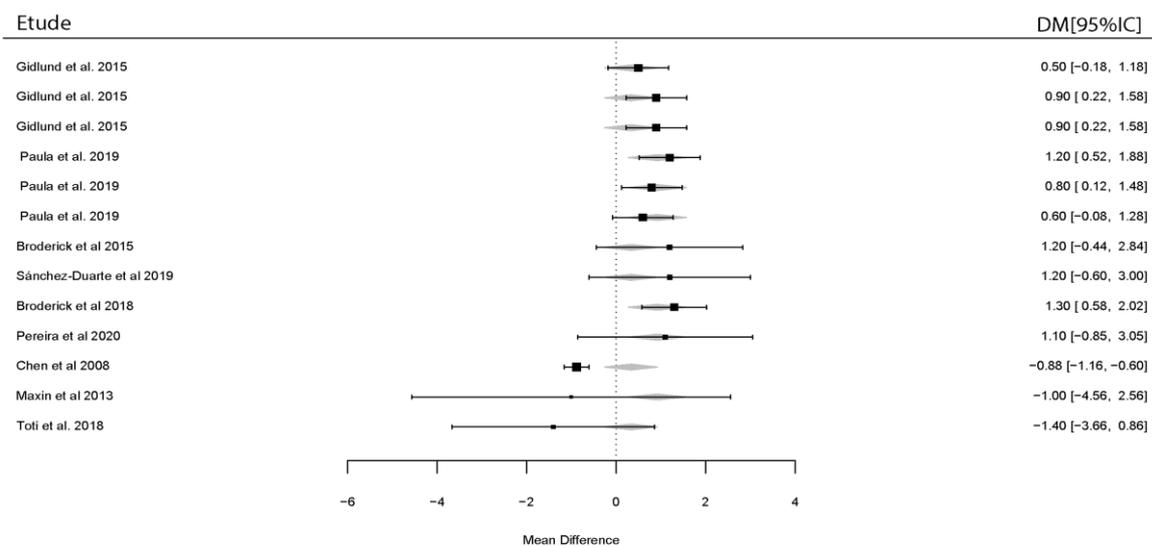


Figure 06 : Graphe forestier de la méta-régression de l’association entre le stade de lactation et l’effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production

4-Discussion

L'objectif de présente étude est de quantifier l'effet de la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza sur la production laitière. Contrairement à la littérature cette étude n'a pas mis en évidence une association entre la substitution des tourteaux de soja par les tourteaux de colza et la quantité de MSI. Contrairement au MSI, nous avons peu identifié un effet significatif de cette substitution sur la production laitière (+0,68 kg/VL /jour) malgré que la MSI n'ait pas été affecté. Cela peut être expliqué par le fait que l'augmentation de la production laitière enregistré dans cette étude est due à une meilleure valorisation des composantes de la ration notamment les sucres pariétaux (NDF et ADF) plutôt par l'augmentation de MSI.

Concernant les matières grasses, la substitution totale du tourteau de soja par du tourteau de colza a entraîné une amélioration du taux butyreux (+33.92 g/kg). Ceci peut en partie s'expliquer par l'augmentation des pourcentages des acides gras en C18 et de manière significative les acides gras à longue chaîne et surtout des acides gras polyinsaturés de tourteau de colza (SCHMIDELY, P et al 2004) La substitution totale du TS par du TC a entraîné, également, une amélioration du taux protéique (+29.22 g/kg). Une méta-analyse récente (Huhtanen et al. 2011) a observé que les réponses protéiques du lait étaient plus élevées avec des niveaux supplémentaires d'inclusion de TC (tourteau de colza) dans les régimes par rapport à l'inclusion de SBM. Dans autre méta-analyse, (Martineau et al 2013) ont rapporté des réponses positives dans les rendements en lait et en protéines laitières lorsque la MC remplaçait différents suppléments protéiques, la réponse en matière de rendement en protéines laitières étant plus élevée dans les expériences dans lesquelles la TC remplaçait les suppléments protéiques autres que la TS. Ces réponses positives dans les rendements en lait et en protéines laitières avec TC pourraient être liées à un métabolisme N plus efficace avec une synthèse protéique microbienne améliorée, un plus grand apport de MP à partir de la fraction RUP, y compris certains AA essentiels (en particulier His, Lys et Met), ou les deux. En effet, la teneur en Lys du DDG de maïs est faible et pourrait limiter la synthèse du lait et des protéines du lait (Nichols et al. 1998), alors que Met est souvent le premier AA limitant dans les régimes à base de SBM (Illg et al. 1987). Concernant la méta-régression, nous avons peu enregistré une différence significative entre les vaches étudiées en milieu de lactation (1.23 kg/j du lait) par rapport les vaches étudiées au début de lactation. Ceci probablement expliqué par le fait qu'au début de lactation les vaches ont capables de mobiliser leurs réserves corporelles. Cette mobilisation peut contribuer considérablement à la synthèse mammaire du

lait et dissimuler toute différence qui peut se produire par la substitution des aliments. **(Pires et al 2012)** ont rapporté que l'augmentation de la production laitière chez les vaches Montbéliardes est liée à la mobilisation des réserves graisseuses. Contrairement au début de lactation, tout changement de la production laitière ne doit être expliqué que par le changement de la ration.

CONCLUSION

Conclusion

Dans des rations lactières, la substitution de tourteau de soja par du tourteau de colza, à un même niveau de protéine brute, n'a pas un effet sur la consommation des vaches. En rapportant les paramètres de production à un niveau similaire de consommation, on observe tout de même un effet positif du tourteau de colza sur les performances lactières, soit la production de lait, de protéines du lait et de gras. Ces études nous indiquent que cette amélioration des performances pourrait s'expliquer par le fait que l'augmentation de la production lactière enregistré dans cette étude est due à une meilleure valorisation des composantes de la ration notamment les sucres pariétaux (NDF et ADF) plutôt par l'augmentation de MSI, et par une augmentation de l'absorption des acides aminés et pourraient être liées à un métabolisme N plus efficace avec une synthèse protéique microbienne améliorée.

RECOMMENDATIONS

Recommandations

Le colza est une plante à la croissance rapide, sa culture a donné des résultats encourageants en Algérie. En basant sur nos résultats et de ce fait que la culture de colza dans notre Pays est très réussie, il est très recommandé, ainsi, d'intégrer le TC dans les rations de la vache laitière. De nouvelles études sont, également, nécessaires chez des autres espèces notamment les volailles et le lapin.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Agromisa, Wageningen, (2004)**. ISBN 90-77073-76-0, NUGI 835, p16, 27.
- **Anderson, v. (2002)**.sunflower meal in beef cattle diets. Northdakotastat university extension service.
- **AOAC (1990)**. Officialmethods of analysis (15thed.).Washington, DC., USA: association of official analytical chemists.
- **Aoumeur,K. (2018)**. Mémoire de fin d'étude Effets de la pratique d'élevage sur la variation de la fromageabilité du lait cru de la ferme expérimentale de Hassi-Mamèche, université de Mostaganem p 11 .
- **Arroyo , J. M ., González , J ., Alvir , M. R ., Rodríguez , C.A ., Quarti M.(2005)**. Protection of protein from sunflower meal by treatments with acid solutions and heat. XI JornadassobreProduccion Animal, Zaragoza, Spain, 11-12 Mayo, 2005: 542 544 P.
- **Arvalis, (2022)**.Le Tourteau De Colza : Sûr, Économique Et Facile À Utiliser,<https://www.arvalis-infos.fr/le-tourteau-de-colza-s-r-economique-et-facile-a-utiliser-@/view-25476-arvarticle.html#>.
- Barret, J. P. (1992). Zootechnie générale Agriculture d'aujourd'hui Sciences, Technique, Applications. *Ed: Lavoisier Paris P, 252, 108-116*.
- **Baumont, R .,Aufrère, J., Meschy, F.(2009)**. La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. Fourrages (2009) 198, P 153-173.
- **Baumont, R., Aufrere, J., Niderkorn, V., Andueza, J. D., Surault, F., Peccatte, J. R., ... & Pelletier, P. (2008)**. La diversité spécifique dans le fourrage: conséquences sur la valeur alimentaire. *Fourrages, 194, 189-206*.
- **Beauchemin K.A., Rode L. (2012)**. Efficient use of forages and impact on cost of production. WCDS Advances in Dairy Technology. Volume 24: P 241-253.
- **belhadjslimen, I et najar,T. (2021)** Intérêt du tourteau de colza pour l'alimentation animale au Maghreb , Institut National Agronomique de Tunisie , p 1 .
- **Bonnier, P., Maas, A., Rijks, J. (2004)**. l'élevage des vaches laitières.
- **Brito, A. F., & Broderick, G. A. (2007)**. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science, 90(4), 1816-1827*.
- **Cauty, I., et Perreau J,M. (2003)**. La conduite de troupeau laitier. Edition France Agricole. Paris. 228 p.

- **Cauty, I., Perreau M. (2009).** La conduite du troupeau bovin laitier, 2e édition, édition France agricole, ISBN: 978-285557-165-2, p136, 137.
- **Chesworth, J. (1996).** L'alimentation des ruminants. Edition Maison neuve et Larousse.263p.
- **CIRAD-GRET. (2006).** Centre de coopération Internationale en recherche agronomique pour le développement, groupe de recherche et d'échanges technologiques, Mémento de l'Agronome.
- **Craplet, C., Thibier M., Duplan J.M.(1973).** La vache laitière. Edition Vigot frère. Paris. 726p.
- **Croisier, M., Croisier, Y. (2012).** Alimentation animale: raisonnement de l'alimentation des animaux d'élevage. ed. Educagri.p. 232.
- **Cuvelier et Dufrasne, (2005)** L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIERE, Université de Liège , p1
- **Cuvelier et Dufresne. (2005)** L'ALIMENTATION DE LA VACHE LAITIERE, Université de Liège, p10.
- **Cuvelier, Ch., Dufrasne, I. (2005).** L'Alimentation de la vache laitière: Aliments, calculs de ration, indicateurs d'évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle, Université de liège, P15.
- **Cuvelier,Ch., Dufrasne,I, (2002).** L'Alimentation de la vache laitière : Aliments, calculs de ration, indicateurs d'évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle. Université de liège. P.105.
- **Delteil, L., Brechet, C., Fournier, E., Leborgne, M. (2004).** Tome1, 3ème édition, ISBN 978-2- 84444-885-9.
- **Demarquilly, C., Dulphy, J.P., Andrieu J.P. (1998).** Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation: foin, ensilage, enrubannage, fourrage (1998)155, 349-369.
- **Demarquilly, C., Faverdin, P., Geay, Y., Vérité, R. et Vermorel, M., (1996).** Bases rationnelles de l'alimentation des ruminants. INRA Prod. Anim, hors série1996, 71 80.
- **Dewhurst, R. J., D. R. Davies et R. J. Merry. (2000).** Microbial protein supply from the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 85:1-21P.

- **Diao, M. B., Dieng, A., Seck, M. M., & Ngomibé, R. C. (2006).** Pratiques alimentaires et productivité des femelles laitières en zone périurbaine de Dakar. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 59(1-4), 43-49.
- **Dulphy, J.P. (1987).** Utilisation des foin par les vaches laitières. In: Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation. INRA Paris, 335-359.
- **Enevoldsen, C., Kristensen, T. (1997).** Estimation of body weight from body size measurement and body condition scores in dairy cows J., *Dairy Sci.*, 80: 1988-1995.
- **Enjalbert, F. (2003).** Alimentation de la vache laitière : Les contraintes nutritionnelles autour du vêlage. *Point Vét / N° 23* :40-44.eria.htm.
- **Faverdin, P., m'hamed, D., rico-gomez, M., vérite, D. (2003).** la nutrition azotée influence l'ingestion chez la vache laitière. *INRA PRO. Anim*, 16(1); 27-37P.
- **Faverdin, P., Delaby, L., Delagarde, R., (2007).** L'ingestion d'aliments par les vaches laitières et sa prévision au cours de la lactation. INRA, Agrocampus, UMR1080 Production du lait, F-35590 Saint-Gilles, France, Courriel: Philippe.Faverdin@rennes.inra.fr.
- **Faverdin, P., Delagarde, R., Delaby, R., Meschy, F. (2007).** Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments. Edition Quae. Paris. 307p.
- **Giallongo, F., Frederick, T., J. Oh., Isenberg, B., Kniffen, D, M., Hristov, A, N., and Fabin, R, A. (2015).** Extruded soybean meal increased feed intake and milk production in dairy cows. *J. DairySci.* 98:6471–6485.
- **Guérin, H., Lecomte, P., Lhoste; P., Meyer. (2002).** Généralités sur les ruminants In: Mémento de l'agronome. Cirad-Gret, p1691.
- **H, james et G, garpiner. (1947).** l'alimentation des volailles, ministere de agriculture otawa, canada, novembre, p22.
- **Hans, H., Stein, Larry L. Berger, et al, (2008).** proprioretenutritionnels et alimentation valeurs de soja et de leurs coproduits, departement science animale, universite *Illinois, Urbana*, p618.
- **Hoden, A., Coulon, J-B. et Faverdin, Ph. (1988).** Influence de la production laitière sur les besoins et la capacité d'ingestion. In Alimentation des bovins, ovins et caprins, Paris : INRA Editions, 476p.
- **Huedo-Medina, T. B., Sánchez-Meca, J., Marín-Martínez, F., & Botella, J. (2006).** Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I² index? *Psychological methods*, 11(2), 193.

- **Huhtanen, P., Hetta, M., &Swensson, C. (2011).** Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian journal of animal science*, 91(4), 529-543.
- **Illg, D. J., Sommerfeldt, J. L., &Schingoethe, D. J. (1987).**Lactational and systemic responses to the supplementation of protected methionine in soybean meal diets. *Journal of Dairy Science*, 70(3), 620-629.
- **INRA Prod. Anim.(2007)**, 20 (2), P151-162 .
- **INRA. (2004).** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Alimentation des polygastriques. Edu-cagri Ed. pp296-323
- **Institut de l'élevage. (2010).** Guide pratique de l'alimentation du troupeau bovin laitier. Edition Quae. 25 p.
- **Jarrige, R. (1980).** Alimentation des ruminants. 2eme edition. INRA. Paris. p 621.
- **Jarrige, R. (1988).** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. INRA, Paris, 471 p.
- **Jarrige, R.(1980).**Principe de la nutrition et de l'alimentation des ruminants. Besoins alimentaires des animaux, valeur nutritive des aliments.
- **Jarrige, R.(1988).** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Paris : INRA Editions, 476p.
- **Journet et Hoden. (1978).** La vache laitiere. Publication collectif coordonnée. P. 342
- **Kadi, A. (2007).** Alimentation de la vache laitière : étude dans quelques élevages d'Algérie. Science des productions animales. Université SAAD DAHLAB de Blida.
- **L.rouest, 1921,**le soja et son lait vegetale, carasonne, copyright, p86.
- **Laarveld, B., and Christensen, D. (1976).** Rapeseed meal in complete feeds for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59:1929-1935.
- **Leborgne, M, C., Brechet, C., Delteil, L., Fournier, E.(2004).** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage, Tome 2, troisième édition, p129, 142, 143.
- **Leclercq, B., Lessire, M., Guy, G., Hallouis, J, M., Conan, L. (1989).** INRA Productions Animales, 2:129-136 P.
- **Lessire ,M ., leclercq, L ., conan, I.(1988).** varriabilite de la valeur energitiquedu grain de soja traite pour les volailles INRA prod.anim, p 265.
- **Mabon, N ., Wathelet, J et Marlier, M .(2000).** LES POTENTIALITES DU TOURTEAU DE COLZA POUR L'ENGRAISSEMENT DE JEUNES RUMINANTS, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FSAGx), p5.
- **Martineau, R., Ouellet, D. R., &Lapierre, H. (2013).**Feeding canola meal to dairy cows: A meta-analysis on lactational responses. *Journal of dairy science*, 96(3), 1701-1714.

- **Mauries, M., Allard, G.(1998).** Produire du lait biologique : réussir la transition. Groupe France agricole. 192 p.
- **Mauries, M., Allard, G.(1998).** Produire du lait biologique, réussir la transition, groupe France agricole, 8 cité paradis, 75493 Paris cedex 10.
- **Metge, J., Berthelot, X., Carrotte, G., Chagnoleau, J., Dauenhauer, A., Fabre, J., Frayssé, J., Lebret, P., Legal, C., Loison, C., Moles, N., Vignau-Loustau, L. (1990).** La production laitière. Ed. Nathan.Paris. P 70-98.
- **Meyer, C., Denis, J.P.(1999).**Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Ed: CIRAD, 314P.
- **Meyer, C., Denis, J.P.(1999).** Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Ed: Cirad, 314P.
- **Nichols, S. W., Froetschel, M. A., Amos, H. E., & Ely, L. O. (1998).** Effects of fiber from tropical corn and forage sorghum silages on intake, digestion, and performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81(9), 2383-2393.
- **Papas, A., Ingalls, J. R, and Cansfield, P.(1978).** Effects of Tower and 1821 rapeseed meals and Tower gums on milk yield, milk composition and blood parameters of lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 58:671-679P.
- **Perez, J. M., Bourdon, D., Baudet, J., Evrard, J.(1986).**Prediction of the energy value of sunflower meal from their cell wall contents. *JournéesRech. Porc.* , 18: 35-46P.
- **Pires et al. (2012).** Renc. Rech. Ruminants, 2012, p 19, 193.
- **Poncet, C., Remond, D., Lepage, E., Dorau, M. (2003).** commentt mieux valoriser les proteagineux et oleagineux en alimentation des ruminant. fourrages, 174 .p 205-229.
- **Rouche, J.(2005).**Composition de la graine de tournesol (*Helianthusannuus L.*) sous l'effet conjugué des contraintes agri-environnementales et des potentiels variétaux, INRA ,p2.
- **Santos, F. A. P., Santos, J. E. P., Theurer, C. B., et Huber, J. T.(1998).** Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81:3182-3213.
- **Sauvant, D., Pérez, J.M., Tran, G. (2002).** In : Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. Inra Editions, Versailles (FRA); 301 p.
- **SCHMIDELY, P., Lapierre, O., &Tristant, D. (2004).** Substitution totale du tourteau de soja par du tourteau de colza pour des vaches laitières hautes productrices-Résultats des essais 2002 du programme" Produire du Lait Autrement" engagé à la ferme expérimentale

de Grignon Total substitution of soya meal with rapeseed meal for high productive dairy cows. Results of experiments of the program “A different way to produce milk” engaged in 2002 at Grignon.

- **Sérieys, F. (1997).** Le tarissement de la vache laitière. 2^{ème} Ed. France Agricole Paris 224 P (61-73, 139 -143)
- **Shayo , C.M ., Ogle ,b ., Uden, p .(1997).** comparaison of water melon (citrus vulgaris) seed meal , acacia tortilis pods and nutritive value and influence on the ruminant environment . tropgrasst , 31(2) 124-129 P.
- **Shingfield, K ., Vanhatalo, A et Huhtanen; P.(2003).** Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets. Anim. Sci. 77: 305-317p.
- **Snowdon, M. (1992).** Composition et valeur nutritive du lait, brunswickcanada .
- **Sprumont, J.(2009).** Alimentation des bovins laitiers. AECP-HaïtMai.<http://www.codeart.org>
- **Stein,H (2008) ,** monogastric nutrition laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign .
- **Sutton, J. D.(1980).** Influence of nutritional factors on the yield and content of milk fat: Dietary components other than fat. Int. Dairy Fed. Bull. Doc. P125:126.
- **Terresunivia .(2022).** tourteau d'oléagineux,<https://www.terresunivia.fr/produitsdebouches/alimentation-animale/tourteaux-d-oleagineux>
- **Thomas, P, C., Chamberlain, D, G. (1984).** Manipulation of milk composition to meet market needs. Ch. 14 in Recent Advances in Animal Nutrition, W. Haresign and D. J. A. Cole, eds. London: Butterworth.
- **Titi, H.(2003).** Replacing soybean meal with sunflower meal with or without fibrolytic enzymes in fattening diets of goat kids . Small Rumin .Res . , 48 : 45-50 P.
- **Trou, G et Plouzin, D. (2007).** Tout savoir sur les tourteaux de tournesol, Institut de l'Élevage en France, 32 33p.
- **Vignau-Loustau, L., Huyghe, C.(2005).** Stratégies fourragères, groupe France agricole 8, cité Paradis, 75010 Paris, p 96
- **Wattiaux, M, A., Homan, E, J. (1996).** Lactation et récolte du lait .Guide technique laitier. Essentiels Laitiers-Nutrition et Alimentation. Institut Babcock pour la Recherche et

le Développement International du Secteur Laitier. Programme International d'Agriculture. Université du Wisconsin à Madison, USA.

- **Wolter, R. (1992).** Alimentation de la vache laitière – Paris : Editions France Agricole, 1^{ère} éd., 224 p. – (Collection Mieux produire).
- **Wolter, R. (1994).** Alimentation de la vache laitière. France Agricole, Paris, 209 p.
- **Wolter, R. (1997).** Alimentation de la vache laitière. *3ème Edition France Agricole*. Paris, 259 P.10-11.
- **Wright, C. F., Von Keyserlingk, M. A. G., Swift, M. L., Fisher, L. J., Shelford, J. A., & Dinn, N. E. (2005).** Heat-and lignosulfonate-treated canola meal as a source of ruminal undegradable protein for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 238-243.