

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 08 ماي 1945
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Alimentaire
Spécialité/ Option : Production et Transformation Laitière
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

**Effet de l'alimentation sur la production laitière
chez la vache**

Présenté par :

RAHMOUNE Malak

MEKHNANE Nahla

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. MEZROUA L	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur :	Dr. SLIMANI A	M.C.B	Université de Guelma
Examineur :	Pr. LAOUABDIA S N	Professeur	Université de Guelma

Juin 2024

REMERCIEMENTS

*Avant tout nous remercions **ALLAH** le tout puissant et le Miséricordieux de nous avoir donné le courage la patience et la santé durant toutes ces années d'études et pour le courage qu'il nous a donné pour mener à bien ce travail.*

*Tout d'abord nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements et notre sincère gratitude à notre encadreur **Dr SLIMANI Atika**, pour ses précieux conseils ses encouragements, son aide, son soutien, sa présence et sa patience.*

*Un grand remerciement au **Dr MEZROUA L** et au **Pr LAOUABDIA S N** de nous avoir honoré par leur présence et d'avoir voulu évaluer ce travail*

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail tout d'abord à mon père et ma mère, qui m'ont toujours soutenue avec patience et dévouement durant toutes mes années d'étude.

Et tous mes enseignants, je leurs exprime ma profonde gratitude. A mon cher frère Oussama et ma petite sœur Assil. A ma grand mère Fatima

A ma chère Rayane, A tous mes collègues de promotion Production et Transformation Laitière. Et toute personne qui me connait.

A ma chère binôme et sœur Nahla pour son entente et sa sympathie.

Malak

DÉDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes très chères parents **Morad** et **Massouda** qui m'ont toujours apportée soutien et confort dans les moments difficiles.*

Et surtout ma mère pour son amour qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

*À ma chère grande mère **Theldja**, que Dieu prolonge sa vie*

*À ma petite cousine **Lin***

*À mes chères cousines **Loubna**, **Malak**, **Lamis**, **Rahma**, **Lina**, **Bouchra**, **Ines***

*À mes familles **Mekhnane** et **Boukhail***

*À ma chère binôme et sœur **Malak** pour son entente et sa sympathie.*

Résumé

L'alimentation est l'un des facteurs déterminants qui peuvent influencer fortement la production et la composition du lait par : la nature d'aliment (fourrage ou concentré, son mode de distribution dans la ration : nombre de repas, mélange des aliments), son aspect physique (grossier ou finement haché), sa valeur nutritive, ...etc. La qualité nutritionnelle du lait évolue très nettement selon l'alimentation des femelles laitières, principalement au niveau de la teneur en matière grasses, en matière protéique, en minéraux et en vitamines. Tout changement dans l'alimentation a un impact significatif sur la production et la composition du lait. Un déficit ou un excès des éléments nutritifs dans la ration alimentaire se traduit par une diminution importante de la quantité de lait produite et une variation dans sa composition chimique. Dans ce manuscrit nous allons essayer de présenter les différents aliments destinés à l'alimentation des vaches laitières avec leur valeur et intérêt nutritionnels. Ainsi que leur effet sur la production et la composition du lait de vache.

Mots clés: Alimentation, Fourrage, concentré, ration, lait.

Abstract

Feeding is one of the determining factors which can strongly influence the production and composition of milk by: the nature of the food (fodder or concentrate, its method of distribution in the ration: number of meals, mixture of foods), its physical appearance (coarse or finely chopped), its nutritional value, etc. The nutritional quality of milk changes very clearly depending on the diet of dairy females, mainly in terms of the content of fat, protein, minerals and vitamins. Any change in diet has a significant impact on milk production and composition. A deficit or excess of nutrients in the food ration results in a significant reduction in the quantity of milk produced and a variation in its chemical composition. In this manuscript we will try to present the different foods intended for feeding dairy cows with their nutritional value and interest. As well as their effect on the production and composition of cow's milk.

Keywords: Feeding, fodder, concentrate, ration, milk.

المخلص

التغذية هي أحد العوامل المحددة التي يمكن أن تؤثر بقوة على إنتاج وتركيب الحليب من خلال: طبيعة العلف (علف أو مركز، طريقة توزيعه في العليقة: عدد الوجبات، خليط الأعلاف)، مظهره الخارجي (خشن) أو مفرومة ناعماً)، وقيمتها الغذائية، وما إلى ذلك... تتغير الجودة الغذائية للحليب بشكل واضح للغاية اعتماداً على النظام الغذائي الذي تتبعه إناث أبقار الألبان، خاصة من حيث محتوى الدهون ومحتوى البروتين والمعادن والفيتامينات. أي تغيير في النظام الغذائي له تأثير كبير على إنتاج الحليب وتكوينه. يؤدي نقص أو زيادة العناصر الغذائية في الحصة الغذائية إلى انخفاض كبير في كمية الحليب المنتج وتغيير في تركيبه الكيميائي. سنحاول في هذه المخطط عرض الأطعمة المختلفة المخصصة لتغذية أبقار الألبان مع قيمتها الغذائية وفوائدها. وكذلك تأثيرها على إنتاج وتركيب الحليب البقري.

الكلمات المفتاحية: التغذية، العلف، مركز، العليقة، الحليب.

Liste des abréviations

% : Pourcentage

Ca : Calcium

CB : Cellulose brute

Cl : Chlore

Co : Cobalt

Cu : Cuivre

EB : Énergie brute

ED : Énergie digestible

EM : Énergie métabolisable

EN : Energie nette

Fe : Fer

g : Gramme

I : Iode

INRA : Institut nationale de recherche agronomique

J : Jour

K : Potassium

Kcl : kilocalorie

Kg : kilogramme

MAD : Matière azotée digestible

MAT : Matière azotée totale

Mg : Magnésium

MG : Matière grasse

Mn : Manganèse

MS : Matière sèche

Na : Sodium

Nacl : Chlorure de sodium

NDF : Fibres insolubles dans les détergents neutres

P : Phosphore

PDI : Protéines digestibles dans l'intestin

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

PDIE : Protéines Digestibles dans L'Intestin grêle permises par l'énergie (E) apportée par l'aliment

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

pH : Potentiel hydrogène

PV : Pois vif

S : Soufre

Se : Sélénium

TB : Taux butyreux

TP : Taux protéique

UF : Unité fourragère

UFL : Unité fourragère (lait)

UFV : Unité fourragère (viande)

UI : Unité International

Zn : Zinc

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Composition chimique de grain d'avoine (Sanchez et al., 2020)	4
2	Critères d'évaluation sensorielle de la qualité d'un ensilage par l'éleveur (Cuvelier, 2005)	7
3	Valeur nutritive d'ensilage de luzerne (ARVALIS,2014)	9
4	Valeur nutritive de la betterave fourragère (INRA ,2007)	10
5	Valeur nutritive du carotte fourragère (INRA, 1988)	11
6	Valeur nutritive de la pomme de terre (Decruyenaere et al., 2006)	12
7	Valeur nutritive de la patate douce (INRA, 2018)	13
8	Valeur nutritive du sorgho (INRA, 2010)	16
9	Valeur nutritionnelle de quelques céréales et leurs co-produits (Belaid, 2016)	17
10	Valeur nutritionnelle du pois, de la fève et du lupin blanc (INRA, 2002)	18
11	Valeur nutritive des tourteaux de soja, de colza, et de lin (ex peller et déshuilé) (INRAE et CIRAD, 2021)	20
12	Apports recommandés en minéraux (Kessler,2001)	30

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	La Luzerne	4
2	Le foin	6
3	La paille	6
4	Récolte de l'herbe pour ensilage	8
5	Récolte de maïs pour ensilage	8
6	Ensilage d'orge	9
7	Betterave fourragère	11
8	La carotte dans l'alimentation des vaches	11
9	La pomme de terre dans l'alimentation des vaches laitières	12
10	La patate douce	13
11	Le blé	14
12	Le maïs	15
13	L'orge	15
14	Le sorgho	16
15	Les drèches dans l'alimentation des vaches	18
16	Le pois fourrager	19
17	La féverole	19
18	Le lupin protéagineux	19
19	Le lin	20
20	Graines de tournesol	21
21	Graines de colza	21
22	Graines de soja	21
23	Pulpes déshydratés dans la ration des vaches	22

Tables des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	1
Chapitre I : Les aliments utilisés dans l'alimentation des bovins et leurs valeurs nutritives	
1. Les fourrages	3
1.1 Les fourrages verts	3
1.1.1 Les types des fourrages verts.....	3
1.1.1.1 L'herbe de pâturage.....	3
1.1.1.2 Les graminées.....	3
1.1.1.2.1 L'avoine	3
1.1.1.3. Les légumineuses	4
1.1.1.3.1 La luzerne.....	4
1.2 Les fourrages secs.....	5
1.2.1 Les types des fourrages secs	5
1.2.1.1 Les fourrages déshydratés	5
1.2.1.1.1 Les foins	5
1.2.1.1.2 Les pailles	6
1.3 L'ensilage	6
1.3.1 Ensilage d'herbe.....	8
1.3.2 Ensilage de maïs.	8
1.3.3 Ensilage de luzerne	8
1.3.4 Ensilage d'orge	9
1.4 Racines et tubercules	10
1.4.1 Les racines.....	10
1.4.1.1 La betterave fourragère	10
1.4.1.2 La carotte	11
1.4.2 Les tubercules.....	12
1.4.2.1 La pomme de terre	12
1.4.2.2 La patate douce	12
2. Les concentrés.....	13
2.1 Les aliments concentrés simples	14
2.1.1 Les céréales.....	14
2.1.1.1 Le blé	14
2.1.1.2 Le maïs.....	14
2.1.1.3 L'orge.....	15
2.1.1.4 Le Sorgho	15

2.2 Les aliments concentrés composés	16
2.3 Les co-produits des céréales	16
2.3.1 Le son de blé	16
2.3.2 Le Rebulet	17
2.3.3 Les drèches	17
2.4 Les protéagineux	18
2.5 Les oléagineux.....	20
2.6 Les tourteaux	21
2.7 Les pulpes séchées.	22

Chapitre II : Effet de l'alimentation sur la production laitière

1. Les besoins nutritives de la vache laitière	23
1.1 Besoins en matières sèches MS.....	23
1.2 Besoins en énergie.....	24
1.3 Besoins en matières azotées	24
1.4 Besoins en minéraux et en vitamines	25
1.5 Besoins en eau	26
2. Effet de l'alimentation sur la production laitière	27
2.1 Effet de l'alimentation énergétique	27
2.2 Effet de l'alimentation azotée.....	29
2.3 Effet de l'alimentation minérale	30
2.4 Effet de l'alimentation vitaminique	31
3. Influence des différents aliments sur la quantité et la composition du lait	31
3.1 Effet du fourrage	31
3.2 Effet du concentré.....	32
3.3 Effet du mode de présentation physique des aliments	33
4. Effet du déséquilibre alimentaire sur la production laitière.....	33
4.1 Impact des carences nutritionnelles	33
4.2 Impact du déséquilibre alimentaire.....	34
4.2.1 Déficit énergétique	34
4.2.2 Excès énergétique	34
4.2.3 Excès en matière azotée.....	35
4.2.4 Le Déficit en matière azotée.....	35
4.2.5 Carences en minéraux	35
4.3 L'importance de l'alimentation équilibrée	35
Conclusion	37
Références bibliographiques	38

Introduction

L'alimentation joue un rôle important dans la production laitière des vaches, les nutriments contenus dans leur alimentation influent sur la qualité et la quantité du lait produit.

Des régimes alimentaires équilibrés en protéines, en glucides et en minéraux favorisent la santé des vaches laitières, ainsi des rendements laitiers optimaux (Faverdin, et *al.*, 2007). La quantité moyenne de lait produite est le principal point qui conditionne le niveau de revenu de l'élevage laitier. Ainsi un bon producteur de lait doit savoir avant tout comment nourrir correctement son cheptel (Andrew, 2012).

Les bovins se nourrissent essentiellement de végétaux. L'animal doit consommer la quantité d'aliments nécessaire contenus dans la ration journalière pour couvrir ses besoins. La ration varie selon l'âge et le stade physiologique de l'animal, le type de production (viande ou lait), la saison et la région d'élevage.

Les aliments utilisés en élevage ont des origines diverses, ils se présentent sous des formes variées, ont des compositions chimiques différentes, ils doivent apporter aux animaux les substances nutritives pour couvrir leurs besoins d'entretien et de production (Croisier, 2012).

La ration de base des vaches laitières peut être composée à partir des différents fourrages tels que l'herbe verte, les foins de prairies naturelles, temporaires ou artificielles, les ensilages (de maïs au sorgho...), et d'aliments succulents : betteraves fourragères, ou à haute teneur en MS, pulpes de sucreries, drêches de brasserie, pomme de terre et topinambours (Pomies, et *al.*, 2007).

La valeur nutritive d'un aliment est évaluée à partir de sa teneur énergétique exprimée en unité fourragère UF (Vermorel et *al.*, 1987). Sa valeur azotée exprimée en matière azotée digestible « MAD » et protéine digestible dans l'intestin « PDI » (Vérité et *al.*, 1988) et sa teneur en minéraux (Baumont et *al.*, 1999).

La relation entre l'alimentation et la composition de lait de vache est pratiquement liée aux variations de la teneur de la matière grasse et protéique, plus sensibles à l'alimentation.

Un déséquilibre alimentaire chez les vaches peut avoir un impact négatif sur leur production laitière. Une alimentation pauvre en éléments nutritifs essentiels tels que les protéines, les minéraux et les vitamines peut entraîner une diminution de la production laitière. De même, un excès ou un déséquilibre dans certains nutriments peut également avoir des conséquences néfastes sur la santé et la production laitière des vaches. Il est donc crucial de fournir une

alimentation équilibrée et adaptée aux besoins nutritionnels des vaches laitières pour maintenir leur santé et leur productivité (Delouis, 1983).

Notre travail se base sur une recherche bibliographique portant sur les différents aliments utilisés dans l'alimentation des vaches laitières et leur effet sur la quantité et la qualité du lait produit.

Chapitre I : Les aliments utilisés dans l'alimentation des bovins et leurs valeurs nutritives

1. Les fourrages

Les fourrages représentent la principale source d'alimentation des ruminants, ce sont des aliments constitués de l'ensemble des parties aériennes des plantes fourragères provenant des prairies permanentes et temporaires, des cultures fourragères annuelles et des cultures céréalières (plantes entières), (yaakoub, 2006). On distingue classiquement 3 catégories de fourrages, en fonction de leur mode de conservation et de leur teneur en MS : les fourrages verts, les ensilages et les fourrages secs. Une 4^{ème} catégorie d'aliments peut être assimilée aux fourrages : il s'agit des racines et tubercules et de leurs dérivés.

1.1 Les fourrages verts

Les fourrages verts comprennent les herbes, l'herbe pâturée est un fourrage de valeur nutritionnelle élevée, peu coûteux à produire, et qui peut constituer le seul aliment de la ration de la vache laitière. (Cuvelier et *al.*, 2005).

Selon Jarrige (1980), Les fourrages verts constituent la ration de base des ruminants, ils sont composés de graminées, de légumineuses et de crucifères.

1.1.1. Les types de fourrages verts

1.1.1.1. L'herbe de pâturage

C'est un aliment de haute valeur nutritive qui peut satisfaire la totalité des besoins des animaux en production si elle est correctement exploitée. (Rivière, 1991).

En général, l'herbe de printemps est pauvre en magnésium, en sodium, en calcium et très riche en potassium (Beguín et *al.*, 2001).

1.1.1.2. Les graminées

1.1.1.2.1. L'avoine

L'avoine est utilisée comme fourrage, lorsque la plante est récoltée avant l'épiaison, ou bien comme concentré par la consommation des grains. Elle constitue un bon aliment pour les ruminants. On peut la cultiver en mélange avec une légumineuse. Ce qui améliore sa teneur en protéines.

Tableau 1 : composition chimique de grain d'avoine (Sanchez et al., 2020)

Composant	Valeur moyenne (%)
Amidon	51,1
Protéines	15,2
Humidité	10,0
Fibres	8,9
Lipides	7,6
Sucres libres	1,1

1.1.1.3. Les légumineuses

1.1.1.3.1 La luzerne

La luzerne est une légumineuse fourragère connue pour sa forte teneur en fibres, en protéines de bonne qualité et en vitamines, elle exploitée verte ou bien déshydratée. (Foin de luzerne ou sous forme de bouchons déshydratés), Elle ne contient pas de facteurs antinutritionnels mais son utilisation au pâturage peut nécessiter une certaine prudence en raison du risque de météorisation particulièrement chez la vache laitière (Rita et al., 2017).



Figure 1 : La luzerne [1]

1.2 Les fourrages secs

Les fourrages secs comprennent les foins et les pailles, il s'agit d'aliments ayant en commun une teneur en MS élevée, supérieure ou égale à 85 %, riches en fibres (Cuvelier et *al.*, 2005). Ils sont issus de l'exploitation des herbes à des stades assez avancés, c'est-à-dire soit l'épiaison/floraison pour les foins, soit la maturation pour les pailles. Dans le cas de la production de foin, on utilise les tiges et feuilles des graminées et des légumineuses, tandis que la paille est le coproduit de la production des céréales.

Les fourrages secs constituent une part essentielle du régime alimentaire des animaux lors de la saison hivernale. (Quentin, et *al.*, 2006).

1.2 .1 Les types des fourrages secs

1.2.1.1 Les fourrages déshydratés

Selon Jarrige (1988) la luzerne est la plus fréquemment utilisée, séchée correctement, sa déshydratation entraîne très peu ou pas de modification de la composition chimique donc une faible perte en UF, en MAT et en PDI (Soltner, 1999). La luzerne déshydratée est caractérisée par une haute valeur azotée et une excellente source de calcium et de phosphore (Demarquilly, 1993 ; Peyraud et *al.*, 1994).

1.2.1.1.1 Les foins

Le foin est un aliment résultant de la déshydratation des produits herbacés dont la teneur en eau passe de 80 à 15 %. La fenaison entraîne une diminution assez importante de la valeur énergétique et surtout très variable, de l'ordre de 0.05 à plus de 0.30 UFL/Kg de MS ; accentuée chez les légumineuses de par la fragilité de leurs feuilles (Jarrige, 1988).

Les foins ont des valeurs variables en UFL, ces derniers varient en fonction du stade et des conditions de récolte, ils fournissent un fourrage grossier de haute qualité s'il est récolté tôt «moins de 10% en fleurs» et entreposé correctement (Weeler, 1998).

Les foins sont utilisés généralement chez des animaux à faibles besoins, tels que la vache gestante tarie.



Figure 2: Le foin [2]

1.2.1.1.2 Les pailles

D'après Demarquilly (1987), les pailles sont constituées par les tiges et les gaines des plantes de céréales à la maturité, c'est-à-dire par les organes les plus riches en parois lignifiées qui représentent environ 80% de MS, elles sont constituées par :

- Les matières azotées en raison de 25 à 50g/Kg de matière sèche.
- Les glucides solubles en raison de 3 à 13g/Kg de matière sèche.
- Les minéraux à l'exception du potassium.



Figure 3: La paille [3]

1.3 L'ensilage

C'est une technique de conservation des fourrages à l'état humide, en anaérobiose, avec développement de fermentation (Guais et al., 1988). Selon la définition de Gouet, (1962), l'ensilage est une technique qui a pour but de conserver des fourrages dans un état voisin du frais au moyen d'une fermentation. Les éléments nutritifs contenus dans les cellules végétales, libérés partiellement au moment de leur mort, sont utilisés par les bactéries lactiques, en abaissant le **pH**

ce qui interdit le développement d'autres espèces nuisibles. (Duthul, 1967). Selon Mathieu (1994), l'ensilage est une méthode de conservation par voie humide en absence d'oxygène.

Tableau 2 : Critères d'évaluation sensorielle de la qualité d'un ensilage par l'éleveur (Cuvelier, 2005)

	<i>Ensilage de bonne qualité</i>	<i>Ensilage de mauvaise qualité</i>
Odeur	Agréable (acidulée, aromatique)	Désagréable, odeur d'acide butyrique, d'ammoniac.
Couleur	Similaire au fourrage initial, légèrement plus brunâtre	Différente du fourrage initial, jaunâtre
Structure identique au fourrage ensilé	Oui	Non
Hygiène	Propre et exempt de moisissures	Souillé, moisi
Température	Pas d'échauffement	Echauffement dans le silo et l'aire de chargement

Pour obtenir un bon ensilage, il faut :

- Utiliser des silos hermétiques (anaérobiose totale) ; plusieurs types de silos sont utilisés de par le monde. Le silo-tunnel, le silo-fosse, le silo-couloir, le silo-tour prendre le fourrage qui n'a pas été souillé par la terre le hacher et le tasser.
- Employer si nécessaire des techniques supplémentaires telles que le pré-fanage pour le fourrage à forte teneur en eau ou utiliser des conservateurs (produits sucrés, acide formique, antifongiques) pour améliorer la conservation. Il est essentiel de moissonner le fourrage au meilleur moment, du point de la qualité nutritive, de la qualité disponible et des conditions climatiques, puis de le sticker correctement afin de réduire les pertes. (CIRAD-IEMVT. 1987).

Un ensilage d'excellente qualité sera ainsi riche en MAT et pauvre en fibres. A l'inverse, un ensilage de mauvaise qualité sera faible en MAT et riche en fibres (Cuvelier, 2005).

1.3.1 Ensilage d'herbe

L'ensilage d'herbe consiste à éparpiller l'herbe et à laisser séjourner sur le sol durant une période limitée pendant laquelle elle sèche partiellement. L'herbe préfanée est ensuite mise en andain, puis dans le silo.



Figure 4: Récolte de l'herbe pour ensilage [4]

1.3.2 Ensilage de maïs

Le maïs est un aliment riche en énergie et pauvre en protéines. On peut le récolter sous différentes formes : plante entière, épi broyé, grain humide. La culture du maïs est facile et nécessite peu d'interventions, une seule récolte suffit. Il y a peu de problèmes de conservation si le tassement a été bien exécuté. (Jarrige, 1988).



Figure 5 : Récolte de maïs pour ensilage [5]

1.3.3 Ensilage de luzerne

Pour assurer une bonne conservation de la luzerne (absence d'échauffement et de moisissure), le pourcentage de matière sèche (MS) du fourrage doit être au moins de 82 %. Atteindre cette teneur exige des conditions climatiques favorables (temps sec et chaud durant 3 à

5 jours). Les opérations mécaniques (fanage, andainage, pressage) occasionne d'autant plus de pertes qu'elles interviennent sur un fourrage sec. (ARVALIS, 2014).

Ces pertes varient généralement de 15 à 30 % du rendement sur pied et concernent principalement les feuilles. Elles sèchent plus rapidement que les tiges et deviennent cassantes. Or ce sont les feuilles qui constituent l'essentiel de la richesse du fourrage. Elles concenent, entre autres, les protéinés et les fibres digestibles (IDELE, 2011).

Tableau 3 : valeur nutritive d'ensilage de luzerne (ARVALIS ,2014)

Nutriments (%)	Ensilage de luzerne
MS	35
Protéine brute	20
Protéine soluble	60
Fibre NDF	40
Sucres solubles	2 à 4
Acides gras volatils	6 à 8

1.3.4 Ensilage d'orge

Le stade épiaison et le stade pâteux sont les deux étapes de récolte recommandées pour l'ensilage de l'orge (Fohner, 2002). La teneur en matière sèche soit comprise entre 35 et 40 %, cela constitue un optimum pour la réussite de l'ensilage. (Gall et *al.*, 1998).



Figure 6: Ensilage d'orge [6]

1.4 Racines et tubercules

Les racines et tubercules sont des aliments importants dans l'alimentation des vaches laitières en raison de leur haute teneur en énergie, en fibres et en éléments nutritifs essentiels.

Les racines, telles que (la betterave fourragère et les carottes), ainsi que les tubercules, (les pommes de terre et les patates douces), sont des sources naturelles de glucides complexes, de fibres alimentaires et de minéraux tels que (le potassium et le magnésium).

Ces nutriments contribuent à maintenir la santé digestive des vaches, favorisent la production laitière et fournissent l'énergie nécessaire pour répondre à leurs besoins métaboliques élevés. (Lebot, 2009).

1.4.1 Les racines

1.4.1.1 La betterave fourragère

Le pâturage des betteraves fourragères est pratiqué par des élevages bovins, laitiers et allaitants. Elle présente une valeur énergétique élevée 1,12 UFL/Kg MS (Dulphy et Demarquilly, 2000). Permet d'augmenter significativement les taux protéiques et butyreux du lait de vaches laitières (Dulphy et al., 1990). Au pâturage, la plante est consommée entière, avec ses feuilles. Ces dernières ont une teneur intéressante en PDIN (feuille + collet = 92 g/kg MS en PDIN) (Alard, 2000).

Les éleveurs introduisent la betterave fourragère dans la ration de leurs animaux pour compléter les rations hivernales des animaux (Rouel et al., 1990).

D'autres valeurs nutritives avancées par l'INRA en 2007 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Valeur nutritive de la betterave fourragère (par kg de MS) (INRA, 2007)

Betterave fourragère	Valeur moyenne
MS	13 %
UFL	1,15
UFV	1,16
PDIA	11 g
PDIN	62 g
PDIE	86 g



Figure 7: La betterave fourragère [7]

1.4.1.2 La carotte

La carotte est un légume-racine largement utilisé dans l'alimentation des vaches laitières en raison de sa valeur nutritionnelle. Riche en fibres, en vitamines et en minéraux, elle contribue à maintenir la productivité des vaches laitières. Les carottes fournissent une source de carotène, qui est converti en vitamine A dans l'organisme des vaches. La vitamine A est essentielle pour la santé de la vision, la croissance cellulaire et la reproduction. De plus, elles sont une source d'énergie grâce à leur teneur en glucides, ce qui contribue à soutenir la production de lait (Thellung ,1927).

En intégrant les carottes dans l'alimentation des vaches laitières de manière équilibrée, les éleveurs peuvent améliorer la santé globale et les performances de leur troupeau. (**5 à 20 kg brut/j** pour une vache laitière). (Villeneuve ,1992).

Tableau 5 : Valeurs nutritives du carotte (par kg MS) (INRA ,1988)

UFL	UFV	PDIN	PDIE	PDIA
1.08	1.08	61 g	82 g	10 g



Figure 8 : La carotte dans l'alimentation des vaches [8]

1.4.2 Les tubercules

1.4.2.1 La pomme de terre

Riche en énergie (1,2 UFL) et présentant un amidon plus lent et donc moins acidogène que celui du blé, la pomme de terre s'avère un aliment du bétail plus attractif pour les rations à base d'herbe que pour celles à base d'ensilage de maïs, déjà riches en énergie. (Parache, et *al.*, 2000).

Tableau 6 : Valeur nutritive de la pomme de terre (Decruyenaere et *al.*, 2006)

MS %	20
MAT %	8
Amidon %	70
UFL/kg MS	1,26
UFV/kg MS	1,31
PDI g/kg MS	81
PDIA g/kg MS	21



Figure9: La pomme de terre dans l'alimentation des vaches laitières [9]

1.4.2.2 La patate douce

La patate douce est une plante à tubercules riches en énergie et en éléments nutritifs. Son utilisation dans l'alimentation animale, notamment dans celle des vaches laitières, a suscité un intérêt croissant en raison de sa disponibilité à améliorer les performances de production laitière. (Varin, 1994).



Figure 10 : La patate douce [10]

La patate douce est une source importante de glucides, principalement sous forme d'amidon, avec une teneur en protéines et en fibres. Elle est également riche en vitamines et minéraux, tels que la vitamine A, la vitamine C, le potassium et le calcium. Cette composition nutritionnelle en fait un aliment potentiellement intéressant pour enrichir l'alimentation des vaches laitières (Weber ,2012).

Tableau 7 : Valeurs nutritives de la patate douce (INRA, 2018)

Patate douce	Brut	Sec
UFL/ kg	0,96	1,09
UFV/kg	0,97	1,1
PDIA g/kg	12	13
PDIN g/kg	62	70

L'incorporation de la patate douce dans l'alimentation peut conduire à une augmentation de la production laitière souvent associée à une amélioration de l'efficacité alimentaire (INRA, 2007).

2. Les concentrés

Les aliments concentrés se caractérisent tous par des teneurs en MS et en énergie élevées. On distingue le type d'aliment concentré simple : tels que les graines de céréales et leurs coproduits, les graines de protéagineux et d'oléagineux et leurs coproduits, les tourteaux, et les pulpes séchées. On utilise des concentrés pour la complémentation d'une ration des vaches laitières. (CELAGRI ,2019).

2.1 Les aliments concentrés simples

2.1.1 Les céréales

Les céréales sont riches en énergie mais pauvres en protéines. Elles sont caractérisées par une proportion élevée d'amidon rapidement dégradable dans le rumen. (Crémer et *al.*, 2016).

2.1.1.1 Le blé

Généralement, on réserve à l'usage zootechnique le blé avarié ou de rebut. Il fournit principalement de l'énergie, sous forme d'hydrates de carbone. Sa valeur alimentaire est comparable à celle du maïs. Le blé présente un atout essentiel par sa haute teneur en protéines. Le blé est très riche en amidon qui représente son principal hydrate de carbone (66% MS) (Blas et *al.*, 1995).



Figure 11 : Le blé [11]

2.1.1.2 Le maïs

C'est la céréale la plus cultivée, d'importantes surfaces sont également consacrées à la production de maïs-fourragier destiné à l'alimentation du bétail soit en vert, soit sous forme d'ensilage soit en grain, 70 % du maïs produit dans le monde est utilisé en alimentation animale » (Maiz' Europ, 2019).

Il est l'un des piliers de l'alimentation animale, il peut apporter jusqu'à 80 % de l'énergie et 40 % de l'azote nécessaire aux ruminants en grain ou en fourrage vert. (Brunel, 2012).



Figure 12 : le maïs [12]

2.1.1.3 L'orge

L'orge demeure une céréale relativement pauvre en protéines par rapport au blé ou au triticale, mais sa teneur reste supérieure à celle du maïs. La teneur en protéines est influencée par la variété, et son mode de culture. Une valeur énergétique moyenne (2700-2800 Kcal/Kg d'aliment). IL est capable de fournir les éléments nutritifs nécessaires à la croissance de l'animal et à la production du lait (Benabdeljelil, 1999).



Figure 13 : L'orge [13]

2.1.1.4 Le Sorgho

Le sorgho, sous forme de grains ou fourrage, est un important aliment de bétail. Le sorgho est une céréale qui peut remplacer les céréales traditionnelles dans les rations des différents animaux d'élevage.

Tableau 8: Valeur nutritive du sorgho (INRA, 2010)

Stade	MS %	UFL /kg	UFV /kg	PDIA g/kg	PDIN g/kg	PDIE g/kg	MAT g/kg MS	CB g/kg MS	P g/kg MS	Ca g/kg MS
Montaison	15,4	0,81	0,74	43	119	93	190	264	2,7	6,2
Épiaison	21,0	0,69	0,60	24	68	71	108	323	2,3	4,5

La production de lait augmente (+ 1 litre à 1,5 litre/VL/j) lors de la consommation du sorgho en comparaison de l'herbe pâturée précédemment, la valorisation semble donc très bonne.



Figure 14 : Le sorgho [14]

2.2 Les aliments concentrés composés

Résultent du mélange d'aliments concentrés simples. Il s'agit d'un mélange de matières premières, sous forme de poudre, de granulés ou de miettes. Les concentrés, qu'il s'agisse d'aliments concentrés simples ou composés, servent à équilibrer en azote et en énergie la ration de base, établie à partir des fourrages. Utilisés dans ce contexte, ils sont fréquemment appelés des « correcteurs ». (Cuvelier et *al.*, 2005).

2.3 Les co-produits des céréales

2.3.1 Le son de blé

Le son de blé est la partie la plus externe du grain. Il se présente sous la forme de particules rosées-brunâtres relativement fines, ressemblant à de petites paillettes enlevées par passage du grain entre deux cylindres à cannelures.

En termes de composition chimique et de valeur nutritionnelle, il présente la particularité d'être très riche en phosphore. Avec une teneur de 12,3 g/kg de MS, il contient 3 à 4 fois plus de phosphore que les céréales. Il est également riche en vitamines du groupe B et en mucilages (une

variété de glucides), deux éléments permettant une régulation des fermentations du rumen. (Bernes, 2016).

2.3.2 Le rebulet

Il est lui obtenu par enlèvement des couches quelque peu plus profondes situées entre le son et l'intérieur du grain. Il est farineux et de couleur grisâtre. Il présente quant à lui des caractéristiques assez semblables au son. (Istasse, 1995).

Le son de blé et dans une moindre mesure le rebulet, sont bien valorisés chez le ruminant, ils sont en effet utilisés comme inducteur et régulateur des fermentations ruminales. (Gielen et al., 1995).

Ces deux co-produits sont caractérisés par des teneurs en énergie plus faibles que les céréales, et par des teneurs moyennes en matières azotées.

Tableau 9: Valeur nutritionnelle de quelques céréales et leurs co-produits (Belaid, 2016)

	Orge	Maïs	Son de blé	Rebulet
MS %	89,5	33,3	86,6	88
MS UFL/ kg	1,14	0,95	0,8	0,88
MS UFV/kg	1,13	0,91	0,75	0,85
PDIN g/kg MS	79	44,3	32	34
PDIE g/kg MS	102	77,6	76	81

2.3.3 Les drêches

Les drêches sont des co-produits de la malterie et de la brasserie. Il y'a deux co-produits : les levures et les drêches. Quantitativement, 100 kg d'orge permettent de produire entre 100 et 350 litres de bière et approximativement 60 kg de drêches.

A l'opposé des céréales et des autres coproduits de céréales que nous venons de voir, les drêches sont des aliments humides (± 22 % de MS), caractérisés principalement par une teneur très élevée en cuivre et une teneur élevée en protéines, celles-ci étant faiblement dégradées dans les pré-estomacs et subissant surtout une digestion enzymatique dans l'intestin grêle. (Knoden ,2005).

La teneur élevée en matières azotées des drêches en fait un aliment protéique intéressant en vue d'une complémentation d'une ration riche en énergie, comme par exemple une ration contenant de l'ensilage de maïs.

Leur taux d'incorporation doit être raisonné et rester dans des limites acceptables chez une vache d'élevage jusqu'à 300 g/100 kg de poids vif. (Luxen ,2005).



Figure 15 : Les drèches dans l'alimentation des vaches [15]

2.4 Les protéagineux

Les protéagineux (pois, féverole, lupin) sont des graines de légumineuses qui se caractérisent par leur grande richesse en protéines (entre 20 et 30 % en moyenne).

Les graines de protéagineux contiennent également des proportions variables en matières grasses et en amidon généralement bien digestible. Leur valeur énergétique est donc relativement bonne et proche de celle des céréales. Il faut cependant distinguer, sur la base de la teneur en amidon et en matière grasse (MG) :

- ✓ Les graines riches en protéines et en amidon, mais pauvres en MG, telles que le pois et la féverole.
- ✓ Les graines riches en protéines et en MG, mais pauvres en amidon, telle que le lupin (Ruckebusch ,1995).

Tableau 10: Valeur nutritionnelle du pois, de la féverole et du lupin blanc (INRA, 2002)

Nutriments	Pois	Fèverole	Lupin blanc
MS g/kg	86,3	85,2	89,5
MAT g/kg MS	239	297	343
Amidon g/kg MS	510	440	10-20
MS UFL/kg	1,21	1,2	0,97
MS UFV/kg	1,23	1,22	-
PDIN g/kg MS	40	58	112
PDIE g/kg MS	98	115	100

En dépit d'une bonne qualité nutritionnelle, leur utilisation dans les aliments pour animaux d'élevage reste actuellement limitée en raison de la présence de facteurs antinutritionnels (tannins...).



Figure 16 : Le pois fourrager [16]



Figure 17 : La féverole [17]



Figure 18: Le lupin protéagineux [18]

2.5 Les oléagineux

Les principales graines oléagineuses sont : le lin, le soja, le colza et le tournesol. Ces graines servent à produire de l'huile, le coproduit de l'extraction d'huile est le tourteau.

Ces graines se caractérisent donc par des teneurs en MG très élevées, de l'ordre de 20 à 45 % de la MS, et des teneurs en énergie très élevées également.

A titre d'exemple, la graine de lin contient plus de 4 fois plus de MG que le tourteau de lin.

Il s'agit aussi d'aliments pourvus de teneurs en matières azotées élevées : on les appelle également protéo-oléagineux. Cependant, les teneurs en MAT sont moindres que celle du tourteau correspondant : la graine de lin possède ainsi une teneur en MAT qui représente 68 % de celle du tourteau de lin. (Rollin ,2009).

Tableau 11: Valeur nutritive des tourteaux de soja, de colza, et de lin < expeller et déshuilé> (INRAE et CIRAD, 2021)

	Tourteau de soja expeller	Tourteau de soja déshuilé	Tourteau de colza expeller	Tourteau de colza déshuilé	Tourteau de lin expeller	Tourteau de lin déshuilé
MS %	88,5	87,0	89,1	87,9	89,2	90,1
MAT g/kg MS	477	546	391	394	353	357
Amidon g/kg MS	80	22	73	26	71	34
MG g/kg MS	73	19	128	24	107	39



Figure 19 : le lin [19]

Figures 20,21,22 : Les oléagineux.



Graines de tournesol [20]

Graines de colza [21]

Graines de soja [22]

2.6 Les Tourteaux

Les tourteaux sont des résidus résultant du traitement des graines ou des fruits oléagineux, pour l'extraction de l'huile, ils sont donc des co-produits de l'industrie de l'huile.

Ils sont considérés, essentiellement, comme aliments protéiques. Outre l'apport azoté, ils fournissent également de l'énergie. Leur teneur en phosphore est satisfaisante mais déficients en calcium, ils sont pauvres en vitamines à l'exception des vitamines du groupe B. Ils trouvent un très large emploi dans la fabrication d'aliments concentrés pour tous les animaux (Rivière, 1991).

La composition chimique et la valeur nutritionnelle des tourteaux dépendent de plusieurs facteurs tels que :

- La nature de la graine dont ils sont issus : soja, colza, lin...
- La méthode d'extraction de l'huile.

La nomenclature des tourteaux fait d'ailleurs référence à la méthode d'extraction de l'huile mise en œuvre : tourteau expeller ou schilfers (extraction de l'huile par pression), ou tourteau déshuilé ou schrot (extraction de l'huile par solvant).

Une extraction par pression est moins performante qu'une extraction par solvant, aussi, la teneur en MG d'un tourteau expeller est toujours plus élevée que celle d'un tourteau déshuilé.

A l'opposé des graines oléagineuses, les tourteaux sont en général pauvres en MG, le tourteau de lin faisant exception à cette règle. Précisons également que les tourteaux, comme les coproduits de céréales, sont des aliments riches en P (Nihoul, 2005).

2.7 Les pulpes séchées

Les pulpes séchées sont des coproduits de la sucrerie, obtenues après déshydratation des pulpes surpressées. Elles sont en général commercialisées sous la forme de pellets de diamètre variable, de 6 à 10 mm.

En termes de composition chimique et de valeur nutritionnelle, retenons que les pulpes séchées sont des aliments secs (teneur en MS aux environs de 90 %), pourvus de teneurs faibles en matières azotées et élevées en énergie et en fibres (cellulose, hémicellulose et pectines).

Elles contiennent en outre des glucides spécifiques aux dérivés de betteraves, à savoir des pectines et des sucres solubles. Elles sont également un aliment source de calcium. (Hornick et *al.*, 2014).

Chez la vache en phase d'élevage, les quantités distribuées sont à adapter en fonction de la composition de la ration et ne devraient pas excéder 0,5 kg/100 kg de poids vif. (Hornick et *al.*, 2014).



Figure 23: Pulpe de betteraves déshydratées dans la ration des vaches [23]

Chapitre II : Effet de l'alimentation sur la production laitière

1. Les besoins nutritives de la vache laitière

Ces besoins correspondent aux synthèses et aux exportations réalisées par la mamelle pour la production du lait et varient en fonction de la composition du lait. Ils sont de 0.44 UFL, 48g de PDI ; 3.6g de calcium et 1.6 g de phosphore par kg de lait standard (40 % de TB et 31% de TP ; 1.20 g de calcium et 0.90 g de phosphore). Proportionnels à la quantité de lait produite, ces besoins atteignent des niveaux élevés quand la production augmente, par exemple, chez une vache produisant 40 kg de lait standard, ils sont de 3 fois plus élevés pour les UFL ; 4 fois plus élevés pour les PDI et 5 fois plus élevées pour le calcium que les besoins d'entretien. (Serieys, 1997).

1.1 Besoins en matières sèches MS

La capacité d'ingestion d'une vache correspond à la quantité d'aliments distribués qu'elle ingère volontairement. Elle est influencée par plusieurs facteurs tels que le poids, la production laitière, l'état corporel, la période de lactation, la période de gestation et l'âge de la vache. (Cuvelier, 2005).

Amener la vache à consommer de grandes quantités d'aliments est la clé d'une production de lait abondante et efficace. En choisissant les aliments on doit viser à assurer le maximum de consommation. Tous les éléments nutritifs (sauf l'eau) requis pour la production de lait se trouvent dans la matière sèche (MS) des aliments. Une forte consommation de matière sèche se traduit par un grand apport d'éléments nutritifs et une haute production laitière (Wheeler, 1993).

Les besoins nutritionnels en matière sèche chez la vache laitière varient en fonction de nombreux facteurs tels que (le stade de lactation, le poids corporel, la race et le niveau de production laitière).

Une vache laitière nécessite environ 55-60% de son alimentation sous forme de matière sèche, comprenant des sources de glucides (comme le foin et les céréales), des protéines (comme le tourteau de soja et la luzerne), des graisses, des minéraux et des vitamines (Mandret, 1994).

Les rations alimentaires doivent être équilibrées pour assurer une santé optimale et une production laitière maximale (Lemaire et *al.*, 1989).

1.2 Besoins en énergie

La quantité totale d'énergie contenue dans un aliment est appelée l'énergie brute (EB). Elle varie selon la nature de l'aliment et en fonction des nutriments présents dans celui-ci. L'énergie brute n'est jamais valorisée complètement par l'animal. En effet, selon la digestibilité de la ration, une fraction plus ou moins importante de l'EB se retrouve dans les matières fécales et est donc perdue. L'énergie résiduelle s'appelle l'énergie digestible (ED). Une fraction de l'ED est ensuite perdue via les urines et les gaz, l'énergie restante s'appelant l'énergie métabolisable (EM). (Brocard et *al.*, 2010).

Au niveau cellulaire, l'EM est en partie dissipée sous forme d'extra-chaleur, le reste étant l'énergie nette (EN), soit l'énergie disponible pour les cellules animales. L'énergie nette est utilement employée pour les besoins d'entretien ou de production. Ceci explique que les valeurs énergétiques des aliments sont toujours exprimées en EN (Brocard et *al.*, 2010).

La valeur énergétique (valeur fourragère) d'un aliment correspond à la quantité d'énergie (**énergie nette**) d'un Kg de cet aliment qui contribue à couvrir les besoins **d'entretien** et de **production** des animaux. (Jarrige, 1988).

Cette valeur est mesurée en kilocalorie par kg d'aliment, cependant pour faciliter son utilisation pratique, elle est rapportée à celle d'un kg d'orge moyenne à 87 % de matière sèche et exprimée en **Unités Fourragères (UF)**.

1.3 Besoins en matières azotées

Exprimés en PDI, les besoins protéiques chez les bovins correspondent aux besoins d'entretien et aux besoins de production (synthèse nouvelle de tissus et exportations) (Micol et *al.*, 2003).

Pour l'entretien, les besoins varient avec le poids métabolique à raison de 3.25 g PDI/kg PV^{0.75} (Vérité et *al.*, 1987).

Le rendement de conversion des protéines métabolisables en protéines sécrétées dans le lait est estimé à 64%. Ainsi, le besoin en protéines lié à la production d'un kg lait est fixé à 50 g de PDI (48 g chez les vaches laitières pour un lait standard) (Micol et *al.*, 2003).

Les besoins des vaches laitières en protéines augmentent rapidement après le vêlage à cause de leur rôle dans la constitution du lait. Ces besoins peuvent être couverts en distribuant une ration riche en protéines (16% de MAT ou plus, à base de MS) durant les premiers mois, couplée avec une augmentation du niveau d'ingestion.

La nature des protéines pour les vaches laitières performantes, en leur début de lactation, est importante. Pendant cette phase, les protéines naturelles sont mieux valorisées que l'azote non protéique. Durant la deuxième moitié de la lactation, les deux sources d'azote peuvent être utilisées dans les rations qui ne nécessitent que 12-13% de MAT (Araba, 2006).

1.4 Besoins en minéraux et en vitamines

Les apports en minéraux et en vitamines des différents aliments de la ration doivent être évalués, et comparés aux besoins de l'animal. Si les besoins ne sont pas couverts, un apport complémentaire en minéraux et en vitamines est alors réalisé, généralement sous la forme d'un complexe minéral-vitaminé, dont la composition sera choisie en fonction des déficits existants. Cette démarche suppose de connaître préalablement d'une part la teneur en minéraux et en vitamines des aliments de la ration, et d'autre part les besoins de l'animal.

Les apports en minéraux des aliments sont exprimés en g/kg de MS d'aliment pour les macro-éléments (Ca, P, K, Na, Cl, S et Mg). Pour les oligo-éléments (Fe, Se, Zn, Cu, I, Co, Mn), ils sont exprimés en mg/kg de MS d'aliment.

Les apports en minéraux, oligo-éléments et vitamines constituent souvent une quantité fixe par vache et par jour (Enjalbert, 2005). Avec une ration sèche, le complément minéral et vitaminé est incorporé dans le concentré.

Les besoins des vaches laitières en calcium (Ca) et phosphore (P) augmentent substantiellement à partir du vêlage du fait que ces deux minéraux entrent amplement dans la composition du lait. L'inaptitude des vaches à s'adapter à cette grande demande peut leur causer la fièvre du lait.

Une importante résorption du Ca et du P à partir des os peut avoir lieu pour combler le déficit en ces nutriments. La disponibilité du Ca alimentaire pour l'animal est variable: le Ca provenant des sources inorganiques est plus disponible que celui des sources organiques. Parmi les sources organiques, le Ca de la luzerne est utilisé moins efficacement à cause de l'indigestibilité des cristaux renfermant le Ca (oxalate de Ca) qui peuvent représenter le tiers du Ca total de la luzerne. (Araba, 2006).

D'importantes quantités de sodium (Na) et en chlore (Cl) sont sécrétées dans le lait. Il est donc nécessaire de fournir ces minéraux aux vaches laitières à raison de 0,18% Na ou 0,46% NaCl.

Les besoins en potasse (K) sont aussi importants à cause de son implication dans la composition du lait. Ces besoins s'amplifient avec le stress thermique. Une déficience en K peut

résulter en une diminution de l'appétit des vaches et consécutivement une baisse de la production laitière.

En général, les fourrages (sauf l'ensilage de maïs) contiennent suffisamment de K pouvant répondre aux besoins de la vache laitière. En situation de stress thermique, on peut envisager l'incorporation de mélasse (riche en K) dans la ration alimentaire des vaches laitières, à raison d'environ 1 kg par jour (Araba, 2006).

Les vitamines, composées organiques essentiels au fonctionnement de l'organisme, nécessaires en très petites quantités, absorbées par le système digestif de l'animal. Elles sont apportées par l'alimentation ou synthétisées par les microorganismes du rumen.

Les apports en vitamines sont exprimés en mg/kg de MS d'aliment ou en Unité Internationale (UI)/kg de MS d'aliment (Cuvelier et al., 2005).

Les ruminants disposent souvent d'un bon approvisionnement de base en vitamine A et E par des fourrages de qualité, frais ou conservés ayant préservé une bonne couleur verte (carotène) et en vitamine D par l'ensoleillement de l'animal ou du fourrage (fanage), en vitamine du complexe B et K grâce à la richesse des aliments et aux abondantes synthèses ruminales. (Journet et al., 1995).

1.5 Besoins 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).

L'eau est un élément indispensable de la ration : il conditionne l'ingestion et donc les productions. En moyenne, une vache laitière consomme 3 à 4 litres d'eau/litre de lait collecté. Ces quantités peuvent cependant varier en fonction des facteurs suivants :

- Le type d'alimentation (pâturage, foin, ensilage d'herbe, ensilage de maïs...), et plus précisément, le contenu en eau des aliments ingérés par l'animal. Une herbe jeune est en effet riche en eau (jusqu'à 850 g d'eau pour 1 kg d'herbe ingéré), alors qu'un fourrage tel que du foin est un aliment relativement sec (\pm 150 g d'eau pour 1 kg de foin ingéré) (Delaby et al., 2007). 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.

- La température extérieure

- Le gabarit de l'animal

- Le stade physiologique de l'animal (génisse, vache en lactation, vache tarie gestante).

Selon Wolter (1994), il semble que tout sous-abreuvement entraîne une diminution de la consommation alimentaire et de la production laitière.

Selon Craplet (1973), 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 protéides absorbés et en sels diurétiques comme l'ion potassium et en fonction de la température ambiante et le degré d'humidité atmosphérique.

2. Effet de l'alimentation sur la production laitière

L'alimentation joue un rôle prédominant. Sur la production laitière chez la vache. La production ainsi que la composition chimique du lait peuvent varier selon la nature d'aliment (fourrage ou concentré son mode de distribution), son aspect physique (grossier ou finement haché), son niveau d'apport en additif alimentaire... etc. (Araba, 2006). Une réduction brutale du niveau alimentaire se traduit par une réduction importante de la quantité de lait produite et une baisse variable du taux protéique.

2. 1 Effet de l'alimentation énergétique

L'énergie utilisée par la vache est celle contenue dans les nutriments absorbés par l'animal en plus de l'énergie provenant de l'utilisation des réserves corporelle de la vache. Les besoins énergétiques des femelles laitières exprimés en unités fourragères lait (UFL) (Meyer et al., 1999), correspondent aux besoins de l'entretien, de la lactation, de la gestation et du 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 (PV0.75), 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 sont fonction des quantités d'énergie exportées dans le lait (Meyer et al., 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 al., 1999).

L'augmentation de l'apport énergétique se traduit par une augmentation du taux protéique, sauf lorsque l'augmentation de ces apports est réalisée par adjonction de matières grasses qui, quelle que soit leur origine, ont un effet dépressif.

Au contraire, le taux butyreux tend à baisser dans le cas de niveaux énergétiques très élevés en raison de l'arrêt de la mobilisation des réserves corporelles qui entraînent souvent une augmentation du taux butyreux. (Araba, 2006).

La période la plus critique pour une vache laitière se situe entre le vêlage et le pic de lactation. En effet, avec le démarrage de la lactation, les besoins de la vache montent en flèche, suite à l'augmentation de la production laitière.

L'utilisation de l'énergie par les vaches laitières dépend du profil fermentaire généré par l'aliment. En général, les rations qui engendrent un faible ratio acétate/propionate (tels que les concentrés) provoquent en une formation de gras corporel au détriment des matières grasses du lait. La quantité de concentré à distribuer après vêlage doit être augmentée graduellement (0,5 à 1 kg par jour) pour améliorer le niveau d'ingestion et éviter une chute de l'appétit de l'animal (Araba, 2006).

Le rôle de l'énergie est déterminant chez la vache laitière, en conditions intensives de production, le risque alimentaire principal est un manque en énergie en début de lactation, surtout pendant les 21 premiers jours. Pour une vache qui produit 6 000 kg de lait pendant la lactation, le déficit énergétique a lieu pendant les 6 à 12 premières semaines de lactation. Les sorties excèdent les entrées d'énergie (Meyer 2009).

Les besoins énergétiques liés à la production de lait sont fonction des quantités d'énergie exportées dans le lait. Le taux de lactose variant peu, la valeur énergétique d'un kg de lait dépend essentiellement du taux butyreux (TB en g/kg de lait) et du taux protéique du lait (TP en g/kg de lait) (INRA, 2007).

Le niveau des apports énergétiques influence la production du lait et sa composition. Selon Hoden *et al.*, 1987., les ensilages de maïs permettent un lait plus riche en matières grasses (3 à 4g/kg) et en protéines (1à 2g/kg).

Lahmar *et al.*, (2002), ont remarqué que la distribution d'une quantité importante des concentrés (60% de MS totale de la ration) se traduit par une augmentation significative des productions du lait, de matière grasses et de protéines que pour les animaux recevant des quantités réduites de concentré (20%).

Soltner (1993), avance que la distribution d'une alimentation riche en concentrés diminue le taux butyreux. Coulon et *al.*, (2003) ont observé que les rations riches en concentrés et en ensilages de maïs conduisent à des laits plus riches en phosphore et moins riches en vitamines et en Bêta carotène par rapport aux rations à base d'ensilage d'herbe.

Une sous-alimentation qui correspond à un bilan énergétique fortement négatif, entraîne une diminution de la production laitière et du taux protéique, et une augmentation du taux butyreux. (Araba, 2006).

2. 2 Effet de l'alimentation azotée

Contrairement à l'énergie, qui peut être stockée sous forme de dépôts adipeux durant la lactation puis être mobilisée par la vache laitière, les possibilités de stockage et de mobilisation de la matière azotée sont modestes. Par conséquent, les besoins en matières azotées devraient être couverts à chaque stade de la lactation. (Blanc et *al.*, 2004).

Durant la première phase de lactation, les besoins en protéines de la vache laitière dépassent de loin les quantités fournies par les micro-organismes du rumen (PDIM); cet écart est d'autant plus important que l'animal est sous-alimenté en énergie ou son niveau de production est élevé(Blanc et *al.*, 2004).

En présence d'un déficit en matière azotée, la vache limite ses excréments dans le lait ce qui signifie, soit que la teneur en protéines du lait diminue, soit que les quantités de lait et de protéines produites s'amenuisent (Jans et *al.*, 1917).

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. Mais elle affecte également l'appétit des vaches laitières (Faverdin ,2003).

L'importance de l'alimentation azotée dans le rationnement des vaches laitières n'est aujourd'hui plus à démontrer. Elle a fait l'objectif d'améliorer la production et la qualité du lait (Schingoethe, 1996).

L'augmentation des apports azotés dans la ration quotidienne entraîne une augmentation conjointe des quantités du lait produit et des protéines secrétées. 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 corrélé à celui du sang de la vache et peut être utilisé comme indicateur d'une sur alimentation azotée (Araba, 2006).

Les rations pauvres en protéines ont tendance à diminuer la production laitière, la teneur en protéines et plus faible lors de distribution des aliments grossiers (Journet et *al.*, 1983).

Par contre, une suralimentation azotée provoque une légère augmentation des matières azotées (caséines) sans modifier le taux butyreux (Alonso, 2003).

2. 3 Effet de l'alimentation minérale

Les éléments minéraux sont indispensables à la vie de l'animal et sont apportés par les aliments et/ou par complémentation. Il existe deux classes (Soltner, 1999) :

* Les macroéléments (Calcium, Phosphore, Chlore, Magnésium, Sodium, Potassium).

* Les oligo-éléments (Fer, Zinc, Cobalt, Manganèse, Sélénium, Iode).

Gadoud et *al.*, (1992) soulignent que le phosphore, entraîne une élévation du taux butyreux, sa carence entraîne une diminution de la production laitière.

Les minéraux (minéraux majeurs et oligo-éléments) sont vitaux pour la vache laitière. Ils doivent être mis à disposition en quantités couvrant les besoins. Une carence comme un excès peuvent nuire à sa santé et limiter sa capacité de production.

Tableau 12 : Apports recommandés en minéraux chez la vache laitière (Kessler, 2001)

Minéraux majeurs en g/kg MS ration		Oligo-éléments en mg/kg MS ration	
Calcium Ca	5.5-6.5	Iode I	0.2-0.6
Phosphore P	3.5-4.0	Cuivre Cu	10
Magnésium Mg	1.5	Manganèse Mn	40
Sodium Na	1.0-1.5	Sélénium Se	0.1
Potassium K	moins que 35	Cobalt Co	0.1

La teneur en minéraux des aliments est influencée par divers facteurs comme le sol, la fumure, l'âge de la plante et les traitements technologiques. Les principaux aliments pour la vache laitière ayant des teneurs moyennes en minéraux sont : l'herbe riche en graminées et en légumineuses, l'ensilage de maïs, pommes de terre, betteraves fourragères, orge... (Kessler, 2001).

Si les teneurs naturelles de la ration en minéraux ne couvrent pas les besoins de la vache laitière, les éléments manquants doivent être complétés par des sels minéraux.

Certains additifs alimentaires comme les bicarbonates de sodium et le magnésium peuvent remédier aux baisses importantes de taux butyreux, observés avec les rations riches en aliments concentrés (Hoden et *al.*, 1987).

Les oligo-éléments sont indispensables mais doivent être apportés en très petites quantités quotidiennes. Les apports journaliers recommandés (AJR) sont exprimés en quantité brute d'oligo-élément par kg de MS de la ration totale distribuée à volonté (Meschy, 2007).

2. 4 Effet de l'alimentation vitaminique

Les vitamines hydrosolubles (A, D, E et K) et liposolubles (complexe B et C) sont très importantes pour la santé, les productions et la reproduction des animaux (Wittlaux et Hoard, 1995). Les vitamines jouent un rôle important, surtout les vitamines A et E et secondairement celles du groupe B, ces dernières assurent un maximum de production de lait (Benachenhou, 2004).

La vitamine A est absente dans les aliments d'origine végétale et présente dans ceux d'origine animale. La vache laitière couvre ses besoins en vitamine A grâce aux provitamines A contenues en quantités importantes dans l'herbe (β -carotène essentiellement). Par contre, en hiver, un apport complémentaire en vitamine A est indispensable. (Hoden et *al.*, 1988).

L'herbe verte est riche en vitamine E, alors que les aliments habituellement utilisés dans les rations hivernales tels que le fourrage sec, les céréales et les tourteaux d'extraction d'oléagineux en contiennent des quantités plutôt faibles. De ce fait, la vitamine E doit en général être ajoutée aux rations hivernales. La vitamine K est abondamment présente dans les fourrages verts. La synthèse de vitamine B par les microorganismes de la panse permet à la vache laitière d'être indépendante d'un apport alimentaire. La couverture des besoins en vitamine D par l'ensoleillement de l'animal ou du fourrage (fanage).

3. Influence des différents aliments sur la quantité et la composition du lait

3.1. Effet du fourrage

La production de lait nécessite l'utilisation de fourrages de qualité. Les fourrages les plus fréquemment rencontrés sont, l'herbe, le foin, le maïs, les pulpes de betterave, etc. (Quentin et *al.*, 2006).

Selon Gaëtan et *al.*, (2011), Les fourrages sont souvent pauvres en sucres et riches en protéines qui se dégradent rapidement au niveau du rumen. Augmenter la teneur en sucres des fourrages permet aux microbes du rumen de mieux utiliser les protéines dégradées des fourrages et entraîne ainsi une amélioration de la performance des vaches laitières.

Les fourrages, principale source de fibres pour les ruminants, sont importants pour le maintien d'un taux butyreux élevé du lait. Ils contribuent à l'augmentation des acides gras dans le lait, en raison de l'action des micro-organismes du rumen qui fermentent la cellulose et l'hémicellulose alimentaires en acétate et butyrate, précurseurs de la synthèse des matières grasses du lait (Sutton, 1989).

Le fourrage entraîne une libération modérée et étalée d'acides gras volatils, bien neutralisés et facilement absorbés au fur et à mesure de leur production (Andrew, 2012). Le pH intra-ruminal reste voisin de 7 et privilégie la fermentation acétique. Cet acide acétique est profitable au taux butyreux puisqu'il est le précurseur majeur des acides gras qui sont particulièrement abondants dans le lait de ruminants. En revanche, son rendement énergétique est médiocre pour l'engraissement (Jarrige, 1988).

L'ensilage de maïs donne un lait riche en matières grasses en comparaison avec d'autres ensilages (tel que l'ensilage d'herbe), car il est relativement bien pourvu en matières grasses (environ 4% MS) et favorable aux fermentations butyriques. L'apport d'ensilage de maïs est aussi souvent associé à des taux protéiques élevés, en raison de sa valeur énergétique élevée. Les comparaisons faites entre ensilages et foin montrent que le foin est plus efficace dans l'élaboration d'un taux butyreux élevé par rapport au même fourrage ensilé.(Araba, 2006).

3.2. Effet du concentré

Le type de concentré utilisé reflète la nature des glucides de la ration. La quantité ainsi que le type de glucides ingérés par l'animal influencent les teneurs en matières grasse et protéique du lait. Dans ce sens, plusieurs études ont cherché à comparer l'effet des parois (pulpe sèche de betteraves, drèches de brasserie...) et des sources d'amidon (blé, orge, maïs). A fort taux de concentrés (plus de 50%), ce sont les céréales qui entraînent des chutes plus importantes de taux butyreux. (Araba, 2006).

Suite à la consommation de quantités élevées d'amidon la fermentation au niveau du rumen donne lieu à des quantités importantes de propionate, ce qui se répercute positivement sur le taux protéique et non sur le taux butyreux.

Les aliments riches en sucres simples (betteraves, mélasse), augmentent la production ruminale de butyrate, ce qui est favorable à des taux butyreux élevés (Araba, 2006).

La dégradation rapide des sucres abaisse volontiers le pH vers 5,5 qui est optimal pour la fermentation en acide butyrique. Cet acide butyrique est également bénéfique au taux butyreux et peut compenser un déficit en acide acétique (Wolter, 2012).

Un excès de concentrés trop facilement fermentescibles conduit à une ingestion rapide avec peu d'insalivation, puis à une production rapide et abondante d'acides gras volatils dont l'accumulation provoque une chute exagérée du pH intra-ruminale. Ainsi, une amylolyse trop vive rapproche le pH de 5,8 et favorise la fermentation propionique à un niveau plus propice à l'adipogénèse qu'à la production de lait (Meschy, 2010).

Les concentrés distribués à forte dose limitent la consommation des fourrages grossiers, peuvent provoquer des troubles digestifs (indigestion) et métaboliques (acidose) et peuvent modifier les fermentations digestives au profit des propionates, d'où baisse du taux butyreux. (Wheeler, 1993).

3.3 Effet du mode de présentation physique des aliments

La réduction des aliments en particules de plus en plus fines, se traduit par la diminution du taux butyreux du lait, comme dans le cas des rations riches en aliments concentrés. La fibrosité de la ration est principalement influencée par la finesse et le hachage des fourrages. Ainsi quand les ensilages sont finement hachés le taux butyreux diminue alors que le taux protéique reste pratiquement inchangé. En effet si la ration manque de structure le temps de rumination diminue réduisant ainsi la production de salive, substance riche en tampon. Ainsi, avec l'herbe jeune, il conviendrait de compléter la ration avec un peu de foin grossier pour améliorer sa structure. (Araba, 2006).

4. Effet du déséquilibre alimentaire sur la production laitière

Un déséquilibre alimentaire chez les vaches peut avoir des répercussions significatives sur leur production laitière. Toute carence peut affecter leur santé et leur productivité.

4.1 Impact des carences nutritionnelles

Les carences en protéines peuvent entraîner une diminution de la quantité et de la qualité du lait produit.

Les carences en minéraux tels que le calcium, le phosphore et le magnésium peuvent affecter la santé des vaches ainsi que la solidité de leurs os et de leurs dents, ce qui peut à son tour réduire leur capacité à produire du lait.

Les carences en vitamines, en particulier les vitamines (A, D et E) peuvent également entraîner des problèmes de santé chez les vaches et réduire leur production laitière (Bonnel, 1985).

4.2 Impact du déséquilibre alimentaire

Un déséquilibre entre les différents nutriments peut perturber la digestion des vaches et affecter l'absorption des éléments nutritifs nécessaires à la production de lait.

4.2.1 Déficit énergétique

Une vache laitière est en déficit énergétique lorsque son alimentation ne couvre pas ses besoins énergétiques. Pour combler ses besoins, la vache laitière mobilise ses réserves corporelles qui seront utilisées comme nouvelle source d'énergie pour assurer les fonctions vitales et la production laitière. Ceci peut entraîner des baisses de rendement laitier, hausse du taux butyreux et diminution du taux protéique et du taux de lactose.

Le déficit énergétique est à l'origine d'une production moins rapide de la capacité d'ingestion par rapport aux besoins, se traduit par une sous-alimentation inévitable en début de lactation d'autant plus importante que le niveau de production et que la qualité de la ration est médiocre (INRAP, 1992).

Le déficit énergétique entraîne une baisse du poids vif, une baisse de la production laitière, du taux protéique et de la production de protéines avec en parallèle augmentation de la teneur en matière grasse du lait et de la concentration en urée dans le lait (Morel et *al.*, 2008).

4.2.2 Excès énergétique

L'origine de l'excès d'énergie est dû au déséquilibre des rations, lorsque trop de concentrés riche en énergie sont distribués il y a une baisse de pH du rumen se traduisant par une baisse de rumination, éventuellement des troubles nerveux et de baisse de production. (Christiane et Jean pierre, 1999).

Quand les animaux ingèrent une forte quantité de concentrés ceci entraîne une acidification brutale du rumen (une chute de pH de 7 à 5,5 par exemple). Cette réaction bouleverse la flore bactérienne du rumen : prédominance de la flore amylolytique au détriment de la flore cellulolytique.

L'excès d'énergie doit être évité en fin de lactation et gestation pour limiter l'engraissement, qui a des conséquences défavorables sur la production et l'appareil reproducteur (Christian et Jean Pierre, 1999).

4.2.3 Excès en matière azotée

Lorsque l'apport d'azote dégradable dans la ration est excessif, certains auteurs ont remarqué une production accrue d'ammoniac provoquant un arrêt de la motricité ruminale et une diminution importante de l'activité microbienne ainsi qu'une baisse significative de la production du lait (Kertz et *al.*, 1983, Choung et *al.*, 1990).

Selon Morand (1988), les taux élevés de la matière azotée dans la ration donnent toujours une production laitière plus faible, dû probablement à un effet toxique : une distorsion importante entre l'apport azoté et l'apport énergétique.

4.2.4 Le déficit en matière azotée

Les carences en azote peuvent intervenir dans des troubles de la production laitière, entrant alors dans le cadre d'une sous-nutrition globale. Un déficit en azote dégradable entraîne indirectement un déficit énergétique via une moindre digestion ruminale (Bosio, 2006).

4.2.5 Carence en minéraux

Les effets d'une carence en minéraux sont souvent peu spectaculaires et peuvent ainsi passer inaperçus. Les signes possibles sont une production laitière plus faible en rapport au potentiel, une ingestion légèrement réduite, un état général quelque peu affaibli et une plus forte propension aux maladies. Mais on peut aussi observer des symptômes plus spécifiques pour les différents minéraux (Kessler, 2001) tels que : la fièvre du lait (hypocalcémie) par manque de calcium dans la ration entraînant une boiterie chronique, une baisse de production laitière. Perte d'appétit et faible production laitière par carence en phosphore. Tétanie hypo magnésique (manque de magnésium), et perte d'appétit, pica, teneur réduite en matières grasses du lait (déficit du sodium).

4.3 L'importance de l'alimentation équilibrée

L'alimentation rationnelle des vaches laitières exerce une influence prépondérante tant sur la production quantitative que sur la production qualitative du lait destiné à des utilisations industrielles (Bérard, 1936).

Pour maintenir une production laitière optimale, il est essentiel de fournir aux vaches une alimentation équilibrée en (protéines, en minéraux, en vitamines et en énergie). Un suivi régulier de l'alimentation des vaches, accompagné d'une analyse de la qualité de leur lait, est nécessaire pour détecter tout déséquilibre alimentaire (Chesworth, 1996).

Pour assurer une production laitière élevée, il est nécessaire de fournir des aliments de haute valeur nutritive, telles que les fourrages, les concentrés. Riches en énergie (le maïs, les céréales et les grains). Bien pourvue en protéines (des fourrages de bonne qualité, le tourteau de soja, le tourteau de colza...), supplémentation en minéraux et en vitamines.

Conclusion

L'alimentation rationnelle des vaches laitières exerce une influence prépondérante tant sur la production quantitative que sur la production qualitative du lait. La nutrition des vaches productrices de lait joue un rôle important dans la production laitière, car l'alimentation affecte grandement la composition et les caractéristiques du lait.

La production et la composition du lait sont tributaires de plusieurs facteurs, dont le plus important est l'alimentation, cette dernière est considérée comme le facteur le plus déterminant, puisqu'elle agit directement sur la production laitière et la composition du lait. Généralement un déficit de production laitière est dû essentiellement à un mauvais régime alimentaire du point de vue à la fois quantitatif et qualitatif.

Pour satisfaire les besoins des vaches et leur permettre d'atteindre les objectifs recherchés en matière de production laitière, et des taux butyreux et protéiques, il importe de leur apporter des rations équilibrées avec une proportion adéquate de fourrage et de concentrés.

Les fourrages, principale source de fibres pour les ruminants, sont importants pour le maintien d'un taux butyreux élevé du lait. Ils contribuent à l'augmentation des acides gras dans le lait, en raison de l'action des micro-organismes du rumen qui fermentent la cellulose et l'hémicellulose alimentaires en acétate et butyrate, précurseurs de la synthèse des matières grasses du lait. L'apport massif de concentré constitue un facteur stabilisant du taux protéique. L'herbe jeune de printemps, qui est riche en sucres solubles, peut occasionner des diminutions de TB par accroissement du taux sanguin de propionate.

L'alimentation et la nutrition devraient être considérées parmi les variables les plus importantes qui sont derrière la production laitière, la santé des animaux et la rentabilité de l'élevage.

Références bibliographiques

Alard, V., 2000. "Intérêt environnemental de la betterave fourragère", Fourrages, 163, 315-322.

Alonso, 2003. La luzerne technique fourrage, bulletin de l'alliance pastorale. Anonyme. 1995 le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Rome (Italie) : F.A.O. 271 P.

Araba, A., 2006. L'alimentation de la vache laitière pour une meilleure qualité du lait : comment augmenter les taux butyreux et protéique du lait. Bulletin Mensuel d'information et de Liaison du PNTTA. MADRPM/DERD n°142. Juillet 2006.

ARVALIS, 2014. Institut végétal. Ensilage de luzerne, La qualité se joue à la récolte. P 3,4.

IDELE, 2011. Institut d'élevage de recherche appliquée et de développement sur l'élevage des herbivores. P2.

Andrew, P., 2012. Alimentation de la vache laitière. pp45-102.

Baumont, R., Champiciaux, P., Agabriel, J., Andrieu, J., Aufrère, J., Michalet-Doreau, B., Demarquilly, C., 1999. Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants : prév.alim.pour INRA. INRA Prod.Anim., 12, pp : 183-194.

Beguin, J.M., Dagorne, R.P., Girona A., 2001. Teneurs en éléments minéraux de l'herbe pâturée par les vaches laitières. Rencontres Recherches Ruminants. 8-2001.

Belaid, D., 2016. Journée Technique Nationale sur le Sorgho Fourragère hybride. pp 45-52.

Benabdeljelil, K., 1999. Valorisation des orges en aviculture. Bulletin de liaison et d'information du PNTTA, transfert de technologie en agriculture, N° 55.

Bérard, 1936 : L'influence de l'alimentation des vaches laitières sur la production de lait de bonne qualité. Le Lait 16 (160): 1068-1083.

Bernes, A., et Knoden D., 2016. Cultiver des céréales immatures. Fourrages Mieux. 96 P.

Blanc, F., Bocquier, F., Debus, N., Agabriel, J., D'hour, P. et Chilliard, Y., 2004. La pérennité et la durabilité des élevages de ruminants dépendent des capacités adaptatives des femelles. "INRA Prod. Anim., V.17, 2004b), 287- 302.

- Blas, J. C., Taboada, E., Mateos, G.G., Nicodemus, N., Mendez, J., 1995.** Effect of substitution of starch for fiber and fat in isoenergetic diets on nutrient digestibility and reproductive performance of rabbits. *J. Anim. SCI.*, 73 (4): 1131-1137.
- Benachenhou , S., 2004.** Enquête sur le mode d'élevage dans la région de MITIDJA. Mémoire de fin étude Dépt. Vét. Université de Blida. 98 P.
- Bonnel, A., 1985.** Ration déséquilibrée. *Rev. Elev. Bov.* 154 :29-32.
- Bosio, 2006.** Estimation of repeatability of calving case in canadian Holstein. *J Dairy. SCI.* 73 :205-212.
- Brocard, V., Trou G., Portier B., François J., Le Guenic, M., Jouanne D., Disenhaus C., Larue A., 2010.** With compact calvings, what are the consequences on dairy performances of extending lactations. *Renc. Rech. Ruminants* 17: 164.
- Brunel, S., 2012.** Géographie amoureuse du maïs, *Lattès.* Pp 62-80.
- Cauty, I., Perreau, J-M., 2003.** La conduite de troupeau laitier. Edition France agricole. 288 P.
- CELAGRI, 2019.** L'alimentation des bovins. pp 102-130.
- Chesworth, J. 1996 .** L'alimentation des ruminants. Edition Maisonneuve et Larose. CTA. 263P
- Choung, J.J., Chamberlain, D.G., Thomas, P.C., Bradbury, I., 1990.** The effects of intraruminal infusions of urea on the voluntary intake and milk production of cows receiving grass silage diets. *J. Dairy Res.*, 57, 455-464.
- Christian, M., et Jean –Pierre, D., 1999.** Elevage de la vache laitière en zone tropicale CIRAD 1999
- CIRAD-IEMVT. 1987.** L'IEMVT Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. Maisons Alfort : CIRAD-IEMVT, 40 P.
- Coulon J, B Rock E. et Noel Y., (2003).** Caractéristiques nutritionnelles des produits laitiers et variations selon leur origine. *Rev, INRA. Prod. Anim.*, 16: pp 275-278.
- Crémer, S., Bernes, A. et Knoden, D., 2016.** Cultiver des céréales immatures. *Fourrages Mieux.* P88-92.

Croisier, M., 2012. Alimentation animale, besoin, aliments et mécanismes de la digestion des animaux d'élevage. Ed : Educagri pp 33-50 .

Cuvelier, CH., 2005. l'alimentation de la vache laitière, Aliments, calculs de ration, indicateurs d'évaluation des déséquilibres de la ration et pathologies d'origine nutritionnelle, pp, 15, 19-59 de matière grasse du lait de vache ;REV .Méd. Vêt ; 170,381-389.

Decruyenaere, V., Belge., C. 2006. Prairies pâturées. Les règles d'or pour une bonne conduite. Wallonie Elevages, n°3, pp 43-46.

Delouis, C., 1983. Equilibre endocrânien et production laitière. Bull. Tech. CRZV theix INRA. 53. pp: 27-37.

Delaby, L., Peccatte, J., Andrieu, J., & Dulphy, J. 2007. Prévion de la digestibilité des fourrages par la méthode pepsine-cellulase. Le point sur les équations proposées. INRAE Productions Animales, 20(2), 129–136.

Demarquilly, C., 1993. Valeur énergétique des luzernes déshydratés INRA : Prod. Anim., 1993, 6(2), pp 137-138.

Demarquilly, C., Chenost M., Ramittonb., 1987. Intérêt zootechnique du traitement des pailles à l'ammoniac, en pâturage et alimentation des ruminants en zones tropicales humide. pp 441-445.

Demarquilly, C, 1996. Valeur alimentaire de l'herbe des prairies aux stades d'exploitation. pp 30-42.

Dulphy J.P., Demarquilly C. 2000. "Intérêt zootechnique de la betterave", Fourrages, 163, 307-314.

Dulphy, J.P., Rouel, J., Bony, J., 1990. "Association de betteraves fourragères à de l'ensilage d'herbe pour des vaches laitières", INRA Prod. Anim., 3 (3), 195-200.

Duthil, J., 1967. La production fourragère. Collection d'enseignement agricole. Ed : J.-B. Baillièrè & Fils.373 P.

Enjalbert, F. 2003. Alimentation de la vache laitière : Les contraintes nutritionnelles autour du vèlage. Point Vèt / N° 23 :40-44.eria.htm.

Faverdin, P., Delagarde, R., Delaby, L. et Meschy, F., 2007. Alimentation des vaches laitières, Alimentation des bovins ovins et caprins. INRA, pp : 23-29.

Faverdin P., Delagarde R., Delaby R., Meschy F., 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins : besoins des animaux, valeurs des aliments. Edition Quae. Paris. P 307.

Faverdin, P., 2003. Effect of metabolizable protein on intake and milk production of dairy cows independent of effects on ruminal digestion. Anim. Sci., 76, 137-146.

Fohner, G., 2002. Harvesting maximum value from small grain cereal forages. In: Proceedings, western Alfalfa and forage conference, 11-13 December, 2002, Sparks, NV, UC cooperative Extension, University of California, Davis 95616.

Gadoud, R., 1992. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage, collection INRA tome I.II. 427P.

Gaëant, T., Allard, G., Berthiaume, R., 2011. Gâtez vos vaches en leur produisant du fourrage plus sucré. Le Producteur De Lait Québécois.

Gall, A., Delattre, J.C., Cabon, G., 1998. Les céréales immatures et la paille : une assurance pour les systèmes fourragers. Fourrages, 156. PP 557-572.

Gielen M., Limbourg P., Brundseaux C., Istasse L., 1995. Production bovine allaitante en Belgique. Fourrages, 141, 91-104.

Gouet Pb., 1962. L'ensilage et les produits laitiers. P 51.

Guais, A., et Hnatyszyn, M., 1988. Les fourrages et l'éleveur. Agriculture d'aujourd'hui, sciences, technique, applications. LAVOISIER 1 Paris cedex 08. Pp 296-335.

Hoden, A., Marquis, B., De La Foye, F.X., 1987. Ensilage de maïs et de trèfle violet pour vaches laitières. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 67, p.p.33 – 37.

Hoden, A., Coulon, J.B., Faverdin, P., 1988. Alimentation des vaches laitières, Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Ed. R.Jarrige : INRA Publications, Route de St-Cyr, 78000Versailles.

Hornick, J.L., Mehdi, Y., Cabaraux J. F., Istasse, L., Dufrasne, I., 2014. Selenium status in cattle herds in Wallonia (Belgium): overview and health management. Veterinary World, 7(12): 1144-1149.

INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins Besoins des animaux – Valeurs des aliments. 307 P.

INRA, 2018 : Alimentation des ruminants. Editions Quae, Versailles, France, 728 p

INRAE et CIRAD AFZ, 2021. Table de livre alimentation des bovins, ovins, caprins. 102 P.

INRAP, 1992. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage, édition Foucher, tome I, 286p ; tome II. 222 P.

Istasse, 1995. Production bovine allaitante en Belgique. P13-15.

Jans, F. Kessler, J. . Münger, A Schori, F., Schlegel, P 2017. Livre vert / Chapitre 7 Apports alimentaires recommandés pour la vache laitière. Agroscope. 23 P.

Jarrige, R., 1980. Principe de la nutrition et de l'alimentation des ruminants. In Besoins alimentaires des animaux, valeur nutritive des aliments. 413 P.

Jarrige, R., 1988. Alimentation des Bovins, Ovins, Caprins- INRA, Paris. 426 P.

Journet, M., Faverdin, P., Remond, B., Vérité, R., Marquis, B., Oliver, R.A., 1983 . Niveau et qualité des apports azotés en début de production Bull. Tech.CRZV Theix. INRA, 51, pp 07-17.

Journet, M., Jarrige, R., Ruckebuh, C., Demarquilly, C, Farce H., 1995. Nutrition des ruminants domestique : ingestion et digestion », Éditions INRA, 925 P.

Kertz, A.F., Davidson, L.E., Cords B.R., Puch H.C., 1983. Ruminant infusion of ammonium chloride in lactating cows to determine effect of pH on ammonia trapping. J. Dairy Sci., 66, 2597-2601.

Kessler, J .2001, L'alimentation minérale de la vache laitière. n° 3 Ed : Station fédérale de recherches en production animale (RAP), CH-1725 Posieux.

Knoden, D., 2005. Les céréales immatures, une source d'énergie alternative pour les ruminants dans des zones peu aptes à la culture du maïs. Les Livrets de l'Agriculture, SPW, n°10.

Lebot, V., 2009. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids. Crop production science in horticulture (17), CAB books, CABI, Wallingford, UK.

Lemaire G, Gastal F, Salette J., 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. XVI Int Grassland Cong Nice, France, 179-180.

Lahmar, M., Fray, M., Gabri, M., et Tayachi, L., 2002. Effet du rapport fourrage/concentré sur la production laitière et sur les compositions chimiques du lait des vaches laitières en milieu de lactation. Anim. INRA. Tunisie ; 73 ; pp 45-59.

Luxen, P., 2005. Les céréales immatures, une source d'énergie alternative pour les ruminants dans des zones peu aptes à la culture du maïs. Les Livrets de l'Agriculture, SPW, n°10.

Maiz' Europ, 2019. Monde : le maïs, une production en croissance. USDA. Agreste Primeur Numéro 345.

Meschy, M.F., 2007. Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : actualisation des connaissances. INRA Prod. Anim., 20 (2) :119-128.

Meschy, F., 2010. Données fourrages 1996-2004.UMR Nutrition et alimentation AgroParisTech/INRA.

Meyer, M., et Dennis, J., 1999. Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Edition CIRAD. 64 P.

Meyer, F., 2009. Physiology, growth and development of larval krill "Euphausia superba" in autumn and winter in the Lazarev Sea, Antarctica [dataset publication series]. PANGAEA.

Micol, D., Hoch, T., Agabriel, J., 2003. Besoins protéiques et maîtrise des rejets azotés du bovin producteur de viande. Fourrages 174, 231-242.

Morel, I., Collomb, M., Richter, S., Reist, M. & Bruckmaier, R.M., 2008. Influence de l'alimentation durant la période de tarissement sur la composition du lait en début de lactation. Revue suisse Agric. 40 (5), 2003 – 2005.

Nihoul, P., 2005. Les céréales immatures, une source d'énergie alternative pour les ruminants dans des zones peu aptes à la culture du maïs. Les Livrets de l'Agriculture, SPW, n°10.

Morand., 1988. Alimentation des ruminants Ed. INRA-Publications (Route de saint Cyr) 78000 Versailles. Pp 449-467.

Paracha PI, Jamil A, Northrop-Clewes CA, Turnham DI., 2000. Interpretation of vitamin A status in apparently-healthy Pakistani children using markers of sub-clinical infection. Am J Clin Nutr 72, 1164-1169.

Peyraud, J.L., Delaby, Marques B., (1994). Intérêt de l'introduction de la luzerne déshydratée en substitution de l'ensilage de maïs dans les rations des vaches laitières, Ann Zootech, 1994 ; pp 91-104.

Pomies, D., Nozière, MO., Faverdin, P., 2007. Principe de rationnement des ruminants. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins, Editions Quæ, INRA, Paris ,12-21.

Quentin, M., Ichaou, A., et Hervé, L.B., 2006. Multiplication végétative à faible coût au profit des paysans et éleveurs des zones tropicales et méditerranéennes 13 P.

Rita, A., Melis, M., Julier, B., Pecetti, L., Thami, I., Abbas, K., 2017. La culture de la luzerne dans un climat méditerranéen. 19 P.

Rivière, R., 1991. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. Collection manuels et précis d'élevage, 3ème trimestre. 1991.556 P.

Rollin, F., 2009. Epidemiology of trace elements deficiencies in Belgian beef and dairy cattle herds. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 23:116-123.

Rouel, J., et Bony, J. 1990. Association de betteraves fourragères à de l'ensilage d'herbe pour des vaches laitières. INRAE Productions Animales, 3(3), 195–200.

Ruckebusch, Y., 1995. Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion. Ed: INRA Paris. 921 P.

Sanchez M.P., Fritz S., Party C., Delacroix-Buchet A., Biochard D., 2020. Frequencies of milk protein variants and haplotypes estimated from genotypes of more than 1 million bulls and cows of 12 French cattle breeds. J. Dairy Sci., 103, 9124-9141.

Schingoethe, D.J., 1996. Dietary influence on protein level in milk and milk yield in dairy cows. Anim. Feed. Sci. Technol., 60, 181-190.

Serieys, F., 1997. Le tarissement des vaches laitières : une période-clé pour la santé, la production et la rentabilité du troupeau Ed : Paris France Agricole. 224 P.

Soltner, D., 1993. Zootechnie générale. Tome II : la reproduction des animaux d'élevage : 2^{ème} édition. Paris : science technique agricole. 232 P.

Soltner, D., 1999. Alimentation des animaux domestique. Tome I, les principes alimentation pour toutes les espèces. P 45-60.

Sutton, J.D., 1989. Altering milk composition by feeding. *J. Dairy Sci.*, 72, pp 2801- 2814.

Thellung, M. A., 1927. L'origine de la Carotte et du Radis cultivés. In : Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 7^e année, bulletin n°74, octobre 1927. 666-671.

Varin, D., 1994. La culture de la patate douce. Agriculture et développement. n° 3: 54-53.

Vérité, R., 1988. Nutrition azotée In : Alimentation des bovins, ovins et caprins, Ed. INRA, France, chap. 4, 75-93.

Vermorel, M., Coulon, J.B., Journet, M., 1987. Révision du système des unités fourragères. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 9-18.

Villeneuve, F., Leteinturier, J., 1992. La Carotte état des connaissances. Tome 2. CTIFL / SILEBAN, 227 P. In : Frédéric Suffert, 2006 : Epidémiologie du cavity spot de la carotte perspectives d'application en protection intégrée. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Agrocampus Rennes, France. pp 23.

Weber, J.L., 2012. Household-level sweet potato-based infant food to complement vitamin A supplementation initiatives. *Matern Child Nutr.* 8(4):512–21.

Weeler, B., 1998. Guide d'alimentation des vaches laitières. Ministère de l'agriculture de l'alimentation et des affaires rurales. Gouvernement de l'Ontario. Agdex 401/50 commande° 101F.

Wheeler, B., 1993. Guide l'alimentation des vaches laitières, Fiche technique, ISSN1198-7138.

Wattiaux, M.A., Terry Howard, W., 1995. Aliment pour vaches laitières. USDACSRC spécial grand 92. 34266-7304 et du US Livestock, export, INC. Institut Babcock pour la recherche et développement international du secteur laitier.

Wolter, R, Andrew, P.2012.Alimentation des vaches laitières. pp 13-160.

Yaakoub, F. 2006. Evaluation "in vitro" de la dégradation des principaux fourrages des zones arides. Mémoire de Magister en nutrition, faculté des sciences, département vétérinaire. Université El-Hadj Lakhdar Batna. pp 18-36.

Sites web

[1] <https://www.action-agricole-picarde.com/la-luzerne-ingredient-miracle-dans-la-ration-des-vaches>

[2] <https://www.web-agri.fr/fenaison/amp/article/119333/choisir-du-foin-fibreux-et-appetent-pour-les-laitieres>

[3] <https://www.web-agri.fr/alimentation-animale/amp/article/120835/distribuer-de-la-paille-de-cereales-ou-de-proteagineux-en-fourrage-d-appoint>

[4] <https://www.web-agri.fr/herbe/amp/article/143228/notre-or-vert-c-est-l-ensilage-d-herbe>

[5] https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Ma%C3%AFs_ensilage

[6] <https://www.syngenta.fr/cultures/cereales/orge-hybride-hyvido/article/optisilage-piloter-ensilage-orges-hybrides>

[7] <https://www.betterave-fourragere.org/>

[8] <https://www.promessedefleurs.com/potager/graines-potageres/graines-de-carotte/carotte-fourragere-blanche-a-collet-vert.html>

[9] <https://www.strohandelroose.com/fr/fourrages-grossiers/pommes-de-terre-fourrageres>

[10] <https://agritrop.cirad.fr/441929/>

[11] <https://www.grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/guide-officiel-classement-grains/04-ble/facteurs-classement.html>

[12] <https://www.lgseeds.fr/mais-grain.html>

[13] https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=orge_nu

[14] <https://www.maviesansgluten.bio/le-sorgho-une-cereale-davenir/>

[15] <http://www.fidocl.fr/content/utiliser-des-dreches-de-brasserie-pour-les-rations-vaches-laitieres>

[16] <https://www.agro-league.com/pois-fourrager-de-printemps>

[17] <https://www.agro-league.com/feverole>

[18] <https://www.ouest-france.fr/le-mag/jardin/lupin-proteagineux-la-plante-couteau-suisse-45c80eac-67e8-45ad-895e-f964cc5d4e81>

[19] <https://www.santemagazine.fr/alimentation/aliments-et-sante/fruits-a-coque-et-graines-oleagineuses/quels-sont-les-bienfaits-sante-et-beaute-des-graines-de-lin-896191>

[20] <https://www.celagri.be/lalimentation-du-betail-contribue-t-elle-a-la-deforestation/>

[21] https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=tournesol_nu

[22] <https://www.saipol.com/des-graines-aux-produits-finis/graines-de-colza/>

[23] <https://www.germineo.com/produit-graines-et-matieres-premieres/369-pulpe-de-betterave-en-pellet-matiere-premiere>